UNIVERSITÄT PADERBORN

FAKULTÄT FÜR ELEKTROTECHNIK, INFORMATIK UND MATHEMATIK

INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

MODULHANDBUCH FÜR DEN MASTERSTUDIENGANG COMPUTER ENGINEERING V3 (CEMA V3)

STAND: 8. SEPTEMBER 2026

Inhaltsverzeichnis

1 Präambel und Hinweise **3**

2 Pflichtbereich **4**

3 Wahlpflichtbereich **34**
3.1 Vertiefungsgebiet “Communication and Networks” 34
3.2 Vertiefungsgebiet “Computer Systems” 118
3.3 Vertiefungsgebiet “Control and Automation” 160
3.4 Vertiefungsgebiet “Embedded Systems” 204
3.5 Vertiefungsgebiet “Nano/Microelectronics” 256
3.6 Vertiefungsgebiet “Signal, Image, and Speech Processing” 302

4 Abschlussarbeit **369**

5 Übersicht des Modulangebotes im Wintersemester **373**

6 Übersicht des Modulangebotes im Sommersemester **374**

7 Übersicht der Modulangebote in englischer Sprache **375**

1 Präambel und Hinweise

Aus technischen Gründen wurde die Präambel des Modulhandbuches ausgelagert. Sie ist unter Prüfungsordnungen und Modulhandbücher unter dem Punkt “Modulhandbücher” auf den Seiten des Instituts EIM-E zu finden. Wir bitten um Beachtung dieser Präambel.

Bei Fragen zum vorliegenden Modulhandbuch oder zur Präambel wenden Sie sich bitte entweder

- an den Prüfungsausschuss Computer Engineering,
- an die Fachstudienberater Computer Engineering,
- an die Studienberatung Elektrotechnik oder
- an die PAUL-Studierendenbetreuung Elektrotechnik.

Bitte beachten Sie auch, dass

1. in diesem Modulhandbuch alle laut Prüfungsordnung vorgesehenen Module aufgelistet werden, auch wenn Sie in dem entsprechenden Semester nicht angeboten werden.
2. dieses Modulhandbuch den Datenbestand des Erzeugungsdatum beinhaltet. Alle Angaben sind ohne Gewähr.

2 Pflichtbereich

Pflichtbereich / Compulsory Area	
Module / Modules	* Pflichtmodul Informatik I * Pflichtmodul Informatik I * Pflichtmodul Elektrotechnik I * Pflichtmodul Elektrotechnik II * Projektgruppe * Wissenschaftliches Arbeiten
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Pflichtmodul Informatik I			
Computer Science I			
Modulnummer / Module number: M.079.01251	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05738 Networked Embedded Systems	V3 Ü2	75	105	WP	60/20

		Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
	a)	L.079.05738 Networked Embedded Systems	L3 Ex2	75	105	CE	60/20

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Networked Embedded Systems:
Empfohlene Vorkenntnisse
Systemsoftware und systemnahe Programmierung

Prerequisites of course Networked Embedded Systems:
Recommended Proficiencies
System software and system-level programming

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Networked Embedded Systems:
Ziel des Kurses ist es, vertiefte Einblicke in den Entwurf und die Programmierung eingebetteter Systeme zu erlangen. Der Fokus liegt klar auf der Anwendungsdomäne Sensornetze. Daher werden fundamentale Grundlagen von Sensornetzen untersucht und im Rahmen der Übungen vertieft.

- Entwurf, Architektur und Programmierung eingebetteter Systeme
- Grundlagen und Anwendungen von Sensornetzen
- Grundlagen drahtloser Kommunikation
- Medienzugriff
- Routing
- Kooperation und Clustering

Contents of the course Networked Embedded Systems:
The objective of this course is gain insights into the operation and programming of embedded systems. A strong focus is on wireless sensor networks. We study the fundamentals of such sensor networks. In the scope of the exercises, we discuss selected topics in more detail.

- Design and architecture of embedded systems - Architecture of embedded systems, programming paradigms
- Sensor networks - Principles and applications
- Wireless communications - Concepts of modulation and encoding on the physical layer
- Wireless access - Typical medium access protocols for low-power sensor nodes
- Routing - Ad hoc routing and data centric communication
- Cooperation and clustering - Clustering algorithms, guaranteed connectivity

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Ziel ist es, grundlegende Konzepte vernetzter eingebetteter Systeme zu verstehen. Die Studierenden sind in der Lage, diese Konzepte anzuwenden.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Einsatz und Engagement
- Lernkompetenz

The learning objective is to unserstand the fundamental concepts of networded embedded systems. Students understand these concepts and are able to apply this knowledge.
Non-cognitive Skills

- Commitment
- Learning competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Written exercises		CA
	Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.			
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement			
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.			
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.			
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch			
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Florian Klingler			
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Networked Embedded Systems:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit praktischen Übungen **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien, Lehrbücher, Papiere *Remarks of course Networked Embedded Systems:* **Implementation method** Lecture with practical exercises **Learning Material, Literature** Slides, textbooks, papers			

Pflichtmodul Informatik II

Computer Science II

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.01252	180	6	Wintersemester
	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	beliebig	1	en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05724 Advanced Computer Architecture	V3 Ü2	75	105	WP	50/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05724 Advanced Computer Architecture	L3 Ex2	75	105	CE	50/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlegende Kenntnisse in Rechnerarchitektur.

Prerequisites of course Advanced Computer Architecture:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in computer architecture.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:* Die Lehrveranstaltung vermittelt die wesentliche Konzepte und Methoden, die beim Entwurf moderner Prozessoren Verwendung finden. Es werden Ansätze zur Nutzung von Parallelität auf der Instruktions-, Daten- und Thread-Ebene besprochen. • Grundlagen der Rechnerarchitektur (Wiederholung und Zusammenfassung) • Entwurf der Speicherhierarchie • Parallelität auf Instruktionsebene • Datenparallelität: Vektor-, SIMD- und GPU-Architekturen • Parallelität auf Thread-Ebene • Warehouse-scale Computer *Contents of the course Advanced Computer Architecture:* The course teaches concepts and methods used in modern processor architecture to exploit the available parallelism at the levels of instructions, data and threads. • Fundamentals of computer architectures (refresher) • Memory hierarchy design • Instruction-level parallelism • Data-level parallelism: Vector, SIMD and GPU architectures • Thread-level parallelism • Warehouse-scale computer
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • die Prinzipien modernen Speicherhierarchien zu erklären, • die verschiedenen Ebenen der Parallelitaet zu analysieren, • die Eignung unterschiedlicher Architekturkonzepte einzuschätzen und dadurch • moderne Entwicklungen der Rechnerarchitektur zu bewerten. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Lernkompetenz After attending the course, the students • are able to explain principles of modern memory hierarchies, • to analyze different levels of parallelism, • to assess the suitability of different architectural concepts and thus • to evaluate modern developments in computer architecture. **Non-cognitive Skills** • Team work • Learning competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet.

	The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:* **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und Tafel • Interaktive Übungen im Hörsaal • Rechnerübungen mit Simulationswerkzeugen • Analyse von Fallbeispielen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Aufgabenblätter und technische Dokumentation für die Rechnerübungen • Hennessey, Patterson: Computer Architecture: A Quantitative Approach (5th edition), Morgan Kaufmann, 2012 • Aktuelle Hinweise auf alternative und ergänzende Literatur, sowie Lehrmaterialien auf der Webseite und in den Vorlesungsfolien *Remarks of course Advanced Computer Architecture:* **Implementation method** • Lecture with projector and board • Interactive exercises in the lecture room item Computer-based exercises with simulation tools • Analysis of case studies **Learning Material, Literature** • Lecture slides and exercise sheets • Exercise sheets and technical documentation for the for the computer-based exercises • Hennessey, Patterson: Computer Architecture: A Quantitative Approach (5th edition or newer), Morgan Kauf- mann, 2012. • Information about alternative and additional literature as well as teaching material on the course's website and in the lecture slides

Pflichtmodul Elektrotechnik I			
Compulsory Module Electrical Engineering I			
Modulnummer / Module number: M.048.45001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.21004 Verarbeitung statistischer Signale	2V 2Ü, WS	60	120	P	60/30
b)	L.048.24014 Statistical Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.21004 Statistical Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	60/30
b)	L.048.24014 Statistical Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

1 aus 2

1 of 2

3	**Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:** Keine *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:* **Empfohlen:** Grundkenntnisse in statistischer Signalbeschreibung, wie sie in einem Bachelorstudium Elektrotechnik oder verwandter Disziplinen gelernt werden. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:* **Empfohlen:** Grundvorlesungen der Signaltheorie und Wahrscheinlichkeitsrechnung None *Prerequisites of course Verarbeitung statistischer Signale:* **Recommended:** Basic knowledge of statistical signal description as learned in a bachelor's degree program in electrical engineering or related disciplines. *Prerequisites of course Statistical Signal Processing:* **Recommended:** Undergraduate courses in signal processing and probability

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:* **Kurzbeschreibung** Mit der Veranstaltung Verarbeitung statistischer Signale erlangen die Studierenden ein Verständnis für die Bedeutung der beschreibenden und schließenden Statistik für viele Bereiche der Elektrotechnik. Sie festigen ihre Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik und erhalten einen Einblick in die Schätz- und Detektionstheorie, sowie die statistische Zeitreihenanalyse. Darüber hinaus werden Verfahren vorgestellt, mit deren Hilfe aus Daten gewonnene Schätzwerte hinsichtlich statistischer Signifikanz bewertet werden können. Die Kenntnis der Detektions- und Estimationstheorie, sowie der Zeitreihenanalyse, aber auch die kritische Bewertung von experimentellen Ergebnissen sind von essentieller Bedeutung für das Verständnis und die kritische Anwendung moderner Signalverarbeitungsverfahren. **Inhalt** • Zufallsexperiment, axiomatischer Begriff der Wahrscheinlichkeit • Begriff der Zufallsvariablen, Verteilungsfunktion, wichtige Verteilungen diskreter und kontinuierlicher Zufallsvariablen, Zufallsvariablentransformation • Maximum-Likelihood Parameterschätzung, lineare Schätzer, Bewertung der Qualtiät von Schätzern, Cramer-Rao Schranke • Bayes'sche Schätzverfahren, (L)MMSE-Schätzung, Spezialfall Gaußverteilung • Stochastische Prozesse, Stationärität, Ergodizität, Korrelationsfunktion und Leistungsdichtespektrum, weißes Rauschen, Markovketten • Optimalfilter nach Wiener, autoregressive Prozesse • Maximum-a-Posteriori und Neyman-Pearson Entscheidungsregel, Receiver Operating Characteristic, statistische Hypothesentests *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:* **Kurzbeschreibung** Unter "Statistical signal processing" versteht man die Techniken, die Ingenieure und Statistiker benutzen, um unvollständige und fehlerbehaftete Messungen auszuwerten. Diese Veranstaltung beschäftigt sich mit einer Auswahl von Themen aus den wesentlichen Bereichen Detektion, Schätztheorie und Zeitreihenanalyse. **Inhalt** Mögliche Themen dieser Veranstaltung sind Korrelationsanalyse, LMMSE Schätzer, Güteabschätzungen von Parameterschätzfunktionen, Neyman-Pearson Detektoren, im weiteren Sinne stationäre Zeitreihen, nichtstationäre Zeitreihen, periodisch stationäre Zeitreihen und komplexwertige Zufallssignale.

Contents of the course Verarbeitung statistischer Signale:
Short description
With the course Processing of Statistical Signals, students gain an understanding of the importance of descriptive and inferential statistics for many areas of electrical engineering. They consolidate their basic knowledge of probability calculus and statistics and gain an insight into estimation and detection theory, as well as statistical time series analysis. In addition, procedures are presented with the help of which estimated values obtained from data can be evaluated with regard to statistical significance. Knowledge of detection and estimation theory, as well as time series analysis, and critical evaluation of experimental results are essential for understanding and critically applying modern signal processing techniques.
Contents

- Random experiment, axiomatic notion of probability.
- Concept of random variables, distribution function, important distributions of discrete and continuous random variables, random variable transformation.
- Maximum likelihood parameter estimation, linear estimators, quality assessment of estimators, Cramer-Rao bound.
- Bayesian estimation, (L)MMSE estimation, special case Gaussian distribution
- Stochastic processes, stationarity, ergodicity, correlation function and power density spectrum, white noise, Markov chains
- Optimal filter according to Wiener, autoregressive processes
- Maximum-a-Posteriori and Neyman-Pearson decision rule, receiver operating characteristic, statistical hypothesis tests

Contents of the course Statistical Signal Processing:
Short Description
Statistical signal processing comprises the techniques that engineers and statisticians use to draw inference from imperfect and incomplete measurements. This course covers a selection of topics from the major domains of detection, estimation, and time series analysis.
Contents
Topics that may be covered in this course include correlation analysis, linear minimum mean-squared error estimation, performance bounds for parameter estimation, Neyman-Pearson detectors, wide-sense stationary, nonstationary and cyclostationary time series, and complex-valued random signals.

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Fachkompetenz / Domain competence: a) Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Zufällige Größen oder Signale mit Methoden der statistischen Signalverarbeitung zu beschreiben • Eigenständig Berechnungen bzgl. Ausfallsicherheit, Trefferhäufigkeit etc. durchzuführen • Selbstständig Schätzverfahren für einfache Parameterschätzprobleme zu entwerfen und anzuwenden • Statistische Hypthesentests zu konstruieren und auf konkrete Fragestellungen anzuwenden • Die Randbedingungen für experimentelle Untersuchungen so zu definieren, dass die Ergebnisse zu belastbaren Aussagen führen • Neu gewonnene experimentelle Daten mit bestehenden Modellen zu vergleichen • Eine Korrelations- oder Spektralanalyse auf Zeitreihen anzuwenden • Optimalfilter für gegebene Fragestellungen zu entwerfen b) Nach dem Besuch dieser Veranstaltung werden Studenten mit den Grundprinzipien der statistischen Signalverarbeitung vertraut sein. Sie verstehen, wie man Techniken der statistischen Signalverarbeitung in der Elektrotechnik einsetzen kann und sie können diese auf relevante Gebiete (wie z.B. in der Nachrichtentechnik) anwenden. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden. c) After attending this course, students will be familiar with the basic principles of statistical signal processing. They will understand how to apply statistical signal processing techniques to relevant fields in electrical engineering (such as communications). Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas. Fachübergreifende Kompetenzen / Key qualifications: b) Die Studierenden • Können die Methoden zur Beschreibung von Größen und Signalen als Zufallsvariablen bzw. Zufallsprozesse auf verschiedenste Fragestellungen aus dem Bereich der Elektro- und Informationstechnik anwenden. • Können die Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen statistischer Methoden in den verschiedenen Anwendungen einschätzen • Sind sie in der Lage, Ergebnisse experimenteller Untersuchungen aus den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern kritisch zu bewerten und Experimente so zu entwerfen, dass deren Ergebnisse belastbare Aussagen zulassen. • Können Messergebnisse unter Nutzung moderner Programmsysteme auswerten • Können in einer Gruppe umfangreichere Aufgabenstellungen gemeinsam analysieren, in Teilaufgaben zerlegen und lösungsorientiert bearbeiten -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

□Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) ⊠Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	120-180 min oder 30-45 min	100
b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120-180 min oder 30-45 min	100

□Final module exam (MAP) □Module exam (MP) ⊠Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination	120-180 min or 30-45 min	100
b)	Written or Oral Examination	120-180 min or 30-45 min	100

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Bho Matthiesen

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:
Lehrveranstaltungsseite
`https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/verarbeitung-statistischer-signale`
Methodische Umsetzung

- Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, vereinzelt Folien-Präsentation
- Präsenzübungen mit Übungsblättern und Demonstrationen am Rechner
- Praktische Übungen mit Python, in denen Studierende eigenständig ein experimentelles Setup entwickeln und implementieren, sowie statistische Analysemethoden auf die gewonnenen Ergebnisse anwenden

Lernmaterialien, Literaturangaben
Bereitstellung eines Skripts, das im Laufe der Vorlesung kapitelweise ergänzt wird. Bereitstellung der Übungsaufgaben samt Musterlösungen und Beispielimplementierungen in Python
Weitere Literatur:

- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Estimation Theory, Prentice Hall, 1993
- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Detection Theory, Prentice Hall, 1998
- R. G. Gallager, Stochastic Processes — Theory for Applications, Cambridge University Press, 2013
- R. L. Schilling, Wahrscheinlichkeit — Stochastik von Abweichungen bis Zufall, De Gruyter, 2025
- N. Henze, Stochastik für Einsteiger, 11. Auflage, Springer Spektrum, 2017
- E. Hänsler, Statistische Signale — Grundlagen und Anwendungen, 3. Auflage, Springer, 2001
- J. L. Melsa, D. L. Cohn, Decision and Estimation Theory, McGraw-Hill, Kogakusha, 1987
- A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 2. Ausgabe, McGraw-Hill, New York, 1984

Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:
Lehrveranstaltungsseite
`http://sst.upb.de/teaching`
Methodische Umsetzung
Vorlesung und Übung
Lernmaterialien, Literaturangaben
Literature references are given in the first lecture.

Remarks of course Verarbeitung statistischer Signale:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/statistical-signal-processing`
Methodical implementation

- lectures with predominant use of blackboard, occasionally slide presentation
- Classroom exercises with exercise sheets and demonstrations on the computer
- Practical exercises with Python, in which students independently develop and implement an experimental setup, and apply statistical analysis methods to the obtained results

Learning materials, references
Provision of lecture notes, extended chapter by chapter during the course. Provision of exercise problems including sample solutions and example implementations in Python.
Further literature:

- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Estimation Theory, Prentice Hall, 1993
- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Detection Theory, Prentice Hall, 1998
- R. G. Gallager, Stochastic Processes — Theory for Applications, Cambridge University Press, 2013
- R. L. Schilling, Wahrscheinlichkeit — Stochastik von Abweichungen bis Zufall, De Gruyter, 2025
- N. Henze, Stochastik für Einsteiger, 11th edition, Springer Spektrum, 2017
- E. Hänsler, Statistische Signale — Grundlagen und Anwendungen, 3rd edition, Springer, 2001
- J. L. Melsa, D. L. Cohn, Decision and Estimation Theory, McGraw-Hill, Kogakusha, 1987
- A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 1984

Remarks of course Statistical Signal Processing:
Course Homepage
`http://sst.upb.de/teaching`
Implementation
Lectures and tutorials
Teaching Material, Literature
Literature references are given in the first lecture.

Pflichtmodul Elektrotechnik II

Compulsory Module Electrical Engineering II

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.45002	180	6	Wintersemester
	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	1. Semester	1	en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.90100 Circuit and Systems Design	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.90100 Circuit and Systems Design	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Circuit and Systems Design:
Empfohlen:
Gute Kenntnisse in Differentialgleichungen, Laplace-Transformation, Fourier-Transformation, Analyse elektrischer Netze (Kirchhoffsche Gesetze, Norton-Äquivalent, Thevenin-Äquivalent, Übertragungsfunktionen, Bode-Diagramm usw.), Physik der Halbleiterbauelemente (Banddiagramm, Leitungsmechanismen in Halbleitern, Minoritäts- und Majoritätsladungsträger, Physik des pn-Übergangs, Physik der MOS-Kapazität)), Physik von Halbleiterbauelementen (Banddiagramm, Leitungsmechanismen in Halbleitern, Minoritäts- und Majoritätsladungsträger, n-Typ-, p-Typ-Halbleiter, Physik des pn-Übergangs, Physik der MOS-Kapazität), Halbleiterbauelemente (physikalische Funktionsweise und Bauelementgleichungen von pn-Diode, MOS-Transistor und bipolarem Transistor), grundlegende Kenntnisse der Digitaltechnik (boolesche Algebra, Wahrheitstabellen, kombinatorische Logik)

	None *Prerequisites of course Circuit and Systems Design:* **Recommended:** Good knowledge in differential equations, Laplace transform, Fourier transform, electrical network analysis (Kirchhoff's laws, Norton equivalent, Thevenin equivalent, transfer functions, Bode diagram etc.), semiconductor device physics (band diagram, conduction mechanisms in semiconductors, minority and majority charge carriers, n-type, p-type semiconductor, physics of pn junction, physics of MOS capacitance), semiconductor devices (physical operation and device equations of pn-diode, MOS transistor, and bipolar transistor), basic digital design (boolean algebra, truth tables, combinational logic)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Circuit and Systems Design:* Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Analyse und den Entwurf von analogen und digitalen Schaltungen und Systemen. Sie baut auf den Grundkenntnissen der elektronischen Bauelemente (Bachelor-Niveau) und den Pflichtvorlesungen "Fortgeschrittene Systemtheorie" und "Modellierung und Simulation" auf. Die Vorlesung stellt einen modernen Ansatz zur Analyse und zum Entwurf elektronischer Schaltungen und Systeme vor, der mathematische Analyse und Schaltungssimulation kombiniert. **Inhalte** • Nichtlineare Großsignalmodellierung von pn-Diode, Bipolar Junction Transistor (BJT) und MOS-Transistor • Nichtlineare Großsignalanalyse von Schaltungen mit Dioden, BJTs und MOS-Transistoren • Lineare Modellierung und Ein-/Zwei-Tor-Darstellung von Dioden, Transistoren und Verstärkern • Lineare Kleinsignalanalyse von BJT- und MOS-Transistor-Verstärkern • Analyse von Einzeltransistorverstärkern • Analyse von Differenzialverstärkern • Modellierung und Analyse von Operationsverstärkerschaltungen • CMOS-Logik • Analyse und Entwurf von kombinatorischen Logikschaltungen • Analyse und Entwurf von sequentiellen Logikschaltungen • Anwendungsbeispiele

	Contents of the course Circuit and Systems Design: **Short Description** The lecture gives an introduction to analysis and design of analog and digital circuits and systems. It builds on basic knowledge of electron devices (bachelor-level) and the compulsory lectures “Advanced System Theory” and “Modeling and Simulation”. The lecture presents a modern approach for analysis and design of electronic circuits and system which combines mathematical analysis and circuit simulation. **Contents** • Nonlinear, large-signal modeling of pn diode, bipolar junction transistor (BJT), and MOS transistor • Nonlinear, large-signal analysis of circuits with diodes, BJTs, MOS transistors • Linear modeling and one-/two-port representations of diodes, transistors, and amplifiers • Linear small-signal analysis of BJT and MOS transistor amplifiers • Single-transistor amplifier analysis • Differential amplifier analysis • Modeling and analysis of operational amplifier circuits • CMOS logic • Analysis and design of combinational logic circuits • Analysis and design of sequential logic circuits • Application examples
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachliche Kompetenz:** Die Studierenden sind in der Lage • geeignete Methoden zur Analyse und zum Entwurf von analogen Systemen zu beschreiben • geeignete Methoden für die Analyse und den Entwurf digitaler Systeme zu beschreiben • die Grenzen der verschiedenen Methoden zu beurteilen • das Verhalten von einfachen analogen und digitalen Schaltungen zu verstehen und zu berechnen • ein numerisches Simulationswerkzeug (SPICE) für elektronische Systeme und Schaltungssimulationen anzuwenden • typische Komponenten und Subsysteme beschreiben **Schlüsselqualifikationen:** Die Vorlesung vermittelt ein Verständnis für das Zusammenspiel verschiedener Modellierungstechniken, mathematischer Analyseansätze und numerischer Simulation sowie deren effektive Anwendung für den Entwurf elektronischer Systeme. Die Methoden für den analogen Elektronikentwurf sind übertragbar auf den Entwurf zeit- und amplitudenkontinuierlicher Systeme. Die Methoden für den digitalen Entwurf sind übertragbar auf den Entwurf zeit- und amplitudendiskreter Systeme.

Domain competence:
The students will be able to

- describe appropriate methods for analysis and design of analog systems
- describe appropriate methods for analysis and design of digital systems
- assess the limitations of the different methods
- understand and calculate the behaviour of simple analog and digital circuits
- use a numeric simulation tool for electronic systems and circuit simulation
- describe typical components and subsystems

Key qualifications:
The lecture conveys an understanding of the interaction of different modeling techniques, mathematical analysis approaches, and numerical simulation, as well as how to apply these effectively to the design of electronic systems. The methods for analog electronic design are transferrable to the design of continuous-time, continuous-amplitude systems. The methods for digital design are transferrable to the design of discrete-time, discrete-amplitude systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	90-150 min or 20-30 min or 30-60 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Circuit and Systems Design:* **Lehrveransatltungs-Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/circuit-and-system-design/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und händischen mathematischen Ableitungen über Tablet und Beamer • Ein Teil der Übungen als handschriftliche Rechenaufgaben mit Tablet und Beamer • Der zweite Teil der Übungen als praktische Entwurfsaufgaben unter Verwendung der LTspice-Simulation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Videos; Übungsfolien. Zusätzliche Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben • Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock, “Microelectronic Circuit Design”, McGraw Hill, 4th edition, 2010 • Neil H. E. Weste, David Money Harris, “CMOS VLSI Design”, Addison Wesley, 4th edition, 2010 *Remarks of course Circuit and Systems Design:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/circuit-and-system-design/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • One part of the exercises as handwritten calculation exercises using tablet and beamer • Other part of exercises as practical design tasks using using LTspice simulation **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos; Exercise slides. Additional literature references will be given in the first lecture • Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock, “Microelectronic Circuit Design”, McGraw Hill, 4th edition, 2010 • Neil H. E. Weste, David Money Harris, “CMOS VLSI Design”, Addison Wesley, 4th edition, 2010

Projektgruppe			
Project Group			
Modulnummer / Module number: M.079.01254	**Workload (h):** 540	**Leistungspunkte / Credits:** 18	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 2-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 2	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	Projektgruppe	PG	240	360	P	15

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	Project Group	PG	240	360	C	15

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Projektgruppe:
Empfohlene Vorkenntnisse
Abhängig vom Thema.

Prerequisites of course Projektgruppe:
Recommended Proficiencies
Depending on the topic.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Projektgruppe:
In einer Projektgruppe bearbeitet eine Gruppe von in der Regel 8-16 Studierenden über den Zeitraum eines Jahres (zwei Semester) ein vom Veranstalter vorgegebenes Thema. Inhaltlich sollen Projektgruppen die Studierenden an aktuelle Forschungsthemen heranführen und durch die Teamarbeit auf die Arbeitsweise der industriellen Praxis vorbereiten.
Themen von Projektgruppen decken das gesamte Spektrum der Forschungsgebiete der Fachgebiete des Instituts für Informatik ab.

Contents of the course Projektgruppe:
In a project group a group of usually 8-16 students works together over a period of one year (two semesters) on a research topic determined by the group organizer. Project groups introduce students to current research topics that are usually related to the group organizer's special area of interest and the team working of the project group should be a preparation for industrial practice. Topics of project groups cover the whole range of research interests of the research groups in the Department of Computer Science.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In der Projektgruppe wird Teamarbeit und Organisation eines Projekts praktisch erprobt und erlernt; hierdurch werden die Teilnehmer auf die spätere industrielle Berufspraxis vorbereitet. Die Studierenden lernen umfangreiche Entwicklungsprozesse im Team aus eigener Anschauung kennen. Durch die ausdrückliche Arbeitsteilung entsteht der Zwang, über eigene Arbeiten innerhalb der Gruppe zu berichten und die Ergebnisse zu vertreten.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Einsatz und Engagement
- Gruppenarbeit
- Lernkompetenz
- Lernmotivation
- Motivationale und volitionale Fähigkeiten
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)
- Selbststeuerungskompetenz

In project groups, participating students gain first-hand practical experience in working in a team and organizing a project; in doing so, they become prepared for daily work in their later professions. The students personally experience how to carry out extensive development processes in a team. Since the tasks are divided among the individual team members, the participating students become skilled in reporting their progress and research findings to the other group members.
Non-cognitive Skills

- Commitment
- Team work
- Learning competence
- Learning motivation
- Motivation
- Literacy (scientific)
- Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Phasenbezogene Prüfung		100%

Im Modul Projektgruppe ist die erfolgreiche Bearbeitung von Projekten durch die Abgabe von Software und Dokumentation als phasenbezogene Prüfung nachzuweisen. Es wird eine Note für die Gesamtheit der bearbeiteten Projekte vergeben.
Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Partial Module Exam		100%

In the Project Group module, the successful completion of projects must be demonstrated by submitting software and documentation as a phase-related examination. A grade is awarded for the entirety of the projects worked on.
The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Praktikumsarbeit		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Practical work		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 9 Credits gewichtet.

The module is weighted as 9 credits.

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Marco Platzner

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Projektgruppe:* **Methodische Umsetzung** • Die Zahl der Projektgruppenteilnehmer ist auf 16 Personen begrenzt. • Es finden Plenumstreffen (alle Teilnehmer und der Veranstalter) statt, insbesondere zur Vermittlung gemeinsam erforderlichen Wissens (Seminarphasen zu Beginn der beiden Semester) und zur Planung der weiteren Arbeit. • Es werden feste Verantwortlichkeiten zwischen den Teilnehmern aufgeteilt, die über die gesamte Projektlaufzeit oder auch nur kurzfristig (ad-hoc-Aufgaben) Bestand haben können. • Es werden Untergruppen zu einzelnen Themen gebildet, die selbständig und termingebunden Aufgaben vorantreiben und dem Plenum Rechenschaft ablegen müssen. • Typischerweise erarbeitet jede Projektgruppe auch eine Repräsentation ihrer Arbeit in einer Webseite. • Am Ende jedes der beiden Semester ist ein Bericht zu erstellen, der in jedem Aspekt von den Teilnehmern gestaltet und mit Inhalt gefüllt wird. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Abhängig vom Thema. *Remarks of course Projektgruppe:* **Implementation method** • The number of participants is limited to 16 people. • Developing knowledge on the selected systematic approaches, methods and tools relevant to the research topic- usually done in an introductory seminar phase. • Logical assigning “jobs” (assigning responsibilities to the individual group members). • Discovering and promoting the participants’ special individual talents, which are either already apparent or which can be developed throughout the project - such as through seminar presentations or appropriate job assignments. • Setting up a process-oriented personnel structure, similar to the structure of an industrial design team; delegating subtasks to smaller subgroups who report their findings. • Regular progress reports made by individuals and subgroups. • Writing a highly distributed interim report and final report. **Learning Material, Literature** Depending on the topic.

Wissenschaftliches Arbeiten			
Scientific Work Style			
Modulnummer / Module number: M.048.42941	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 2. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.90801 Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik		30	30	P	15
b)	Seminar (CE)	S2	30	90	P	15

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.90801 Languages, Writing and Presentation Techniques		30	30	C	15
b)	Seminar (CE)	S2	30	90	C	15

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:
Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Seminar (CE):
Empfohlene Vorkenntnisse
Abhängig vom Seminarthema.

	None *Prerequisites of course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* None *Prerequisites of course Seminar (CE):* **Recommended Proficiencies** Depending on the seminar topic.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Die Studierenden wählen, je nach Vorkenntnissen und Interesse, aus dem Angebot der Universität Paderborn eine Veranstaltung aus dem Bereich moderne Sprachen, wissenschschaftliches Schreiben oder Präsentieren wissenschaftlicher Themen. *Inhalte der Lehrveranstaltung Seminar (CE):* Ein Seminar dient der vertieften, selbständigen Einarbeitung in einen komplexen wissenschaftlichen Sachverhalt, der dazu notwendigen Literaturrecherche, sowie der Präsentation der Ergebnisse in Wort und Schrift. Es dient ebenfalls dazu, Studierende mit den wesentlichen Mechanismen des Wissenschaftsbetriebs vertraut zu machen (Konferenzen, Begutachtungsprinzipien, . . .). Seminare werden von allen Dozenten angeboten; Themen wechseln dabei von Semester zu Semester und entstammen dem Forschungsgebiet des jeweiligen Dozenten. *Contents of the course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Depending on their previous knowledge and interest, students choose a course from the range of courses offered by the University of Paderborn in the field of modern languages, scientific writing or presenting scientific topics. *Contents of the course Seminar (CE):* A seminar is intended for in-depth, independent familiarization with a complex scientific issue, the necessary literature research, and the presentation of the results in spoken and written form. It also helps to familiarize students with the essential mechanisms of the scientific community (conferences, reviewing principles, . . .). Seminars are offered by all lecturers; topics change from semester to semester and originate from the research area of the respective lecturer.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Ziel des Moduls sind die Fertigkeiten, sich technische Sachverhalte selbständig aneignen und effizient und effektiv in Wort und Schrift kommunizieren zu können. Hierzu dient zum einen ein Seminar zu einem wissenschaftlichen Thema aus Computer Engineering; zum anderen ein frei wählbarer Kurs zu Kommunikation, beispielsweise ein Sprachkurs, ein Kurs zu technischem Schreiben, zu Präsentationstechnik o.ä. • Einsatz und Engagement • Kooperationskompetenz • Lernkompetenz • Medienkompetenz • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The goal of this module is to enable students to autonomously familiarize themselves with complex technical and scientifc material and to effectively and efficiently communicate such material in speech and writing. To this end, the module comprises a seminar on scientific topics from computer engineering and an elective class on language, technical writing, presentation techniques, etc.

- Commitment and dedication
- Cooperation competence
- learning competence
- media competence
- Writing and reading competence (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a) - b)	Referat	30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a) - b)	Presentation	30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)			QT
b)			

Qualifizierte Teilnahme zu der Lehrveranstaltung a) des Moduls gemäß § 39 Besondere Bestimmungen. Näheres zu Form und Umfang bzw. Dauer gibt die Lehrkraft spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)			QP
b)			

Qualified participation in the course a)of the module according to § 39 Special Regulations. Details on the form and scope or duration will be announced by the instructor within the first three weeks of the lecture period at the latest.

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist und die qualifizierte Teilnahme nachgewiesen wurde. The credit points are awarded after passing the module examination (MAP) and providing proof of the qualified participation.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Katrin Temmen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Anmeldehinweis: Bei der Lehrveranstaltung „Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik“ gehen wir aus pragmatischen Gründen wie folgt vor: Sie wählen aus dem gesamtuniversitären Angebot eine Veranstaltung, die zu den im Modulhandbuch angegebenen Randbedingungen passt, lassen sich Ihre erfolgreiche Teilnahme schriftlich bestätigen und reichen mir den Nachweis bis zum • WiSe: 31.03. oder • SoSe: 30.09. ein (Briefkasten neben P1.6.09.2 oder als pdf per Mail an Katrin.Temmen@upb.de). Ich veranlasse, dass dies in PAUL eingetragen wird. Bitte achten Sie darauf, dass auf dem Nachweis neben Ihrer Matrikelnummer auch das zugehörige Modul (Bachelor v2: L.048.90802 / M.079.0116; Bachelor v3 & v3b: L.048.90802 / M.079.01209; Master v3: L.048.90801 / M.048.42941) vermerkt ist. Katrin Temmen *Hinweise der Lehrveranstaltung Seminar (CE):* **Methodische Umsetzung** Seminare basieren auf einer Liste vorgegebener Themen, aus denen Studierende eine Auswahl treffen können. Nach einer Themenvergabe finden in der Regel einige Termine statt, um Literaturrecherche, Literaturauswahl, Präsentationstechnik, technisches Schreiben, etc. zu besprechen. Gleichzeitig beginnen Studierende mit der Literatursuche. In ständiger Interaktion mit dem Betreuer und den anderen Seminarteilnehmern wird durch einige Meilensteine eine Seminarausarbeitung und eine Präsentation entwickelt, die dann der Gruppe vorgestellt und diskutiert wird. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen.

Remarks of course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:
Registration Note: For the course “Languages, Writing and Presentation Techniques”, please proceed as follows for pragmatic reasons: Select a course from the overall university course program matching the conditions specified in the module handbook, obtain a written confirmation of your successful participation and pass this proof on to me (letterbox next to room P1.6.09.2 or pdf-file to Katrin.Temmen@upb.de) before start of

- Winter semester: by 31 March or
- Summer semester: by 30 September. I will then have this registered in PAUL. Please ensure that besides your matriculation number the respective module (Bachelor v2: L.048.90802 / M.079.0116; Bachelor v3 & v3b: L.048.90802 / M.079.01209; Master v3: L.048.90801 / M.048.42941) is also mentioned on the proof of registration. Katrin Temmen

Remarks of course Seminar (CE):
Implementation method
Seminars are based on a list of given topics from which students can make a selection. After a topic is assigned, there are usually a few appointments to discuss literature research, literature selection, presentation technique, technical writing, etc. At the same time, students begin the literature search. In constant interaction with the supervisor and the other seminar participants, a seminar paper and a presentation are developed through some milestones, which are then presented to the group and discussed.
Learning Material, Literature
Scientific publications.

3 Wahlpflichtbereich

3.1 Vertiefungsgebiet “Communication and Networks”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Communication and Networks / Communication and Networks
Module / Modules	* Advanced Distributed Algorithms and Data Structures * Foundations of Cryptography * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Information Theory * Machine Learning I * Modern Semiconductor Lasers * Optical Communication A * Optical Communication B * Optical Communication C * Optimale und Adaptive Filter * Optoelectronics * Real World Crypto Engineering * Routing and Data Management in Networks * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Theory and Design of Integrated Photonic Devices * Theory and Design of Phase-locked Loops * Topics in Signal Processing * Web Security
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Communication and Networks / Communication and Networks

Lernziele / Learning objectives

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Kommunikation und Netzwerke.

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.01256	180	6	Wintersemester
	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	beliebig	1	en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen

Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Recommended Proficiencies
Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures

4 **Inhalte** / **Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Die Vorlesung stellt fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling, und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt.

Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
The lecture will cover advanced topics in distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:**

Studierende lernen fortgeschrittene Methoden und Verfahren für aktuell sehr relevante verteilte Systeme kennen. Sie können Verfahren an neue Situationen anpassen und deren Komplexität bestimmen. Sie können grundlegende Verfahren implementieren.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Gruppenarbeit
- Lernkompetenz
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)
- Selbststeuerungskompetenz

Students get to know advanced methods and algorithms for currently very relevant distributed systems. They are able to adapt algorithms to new situations and to determine their complexity. They can implement basic distributed algorithms.
Non-cognitive Skills

- Team work
- Learning competence
- Literacy (scientific)
- Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung** / **Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet.

The module is weighted as 6 credits.

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Christian Scheideler

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen und Softwareprojekt **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skript *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation method** Lecture with tutorials and software project **Learning Material, Literature** Lectures notes

Foundations of Cryptography			
Foundations of Cryptography			
Modulnummer / Module number: M.079.01262	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	V3 Ü2	75	105	P	25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	L3 Ex2	75	105	C	25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:
Empfohlene Vorkenntnisse
Basiskenntnisse in IT-Sicherheit und Kryptographie nützlich aber nicht notwendig, Grundkonzepte der Komplexitätstheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie

Prerequisites of course Foundations of Cryptography:
Recommended Proficiencies
Basic Knowledge in IT-Security and cryptography useful but not necessary, basic concepts of complexity theory and probability theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:* Wichtige Basiskonzepte moderner Kryptographie werden vorgestellt. Hierzu gehören Verschlüsselungsverfahren, digitale Signaturen, Identifikationsprotokolle und Mehrparteienberechnungen werden vorgestellt. In allen Fällen werden formale Sicherheitsdefinitionen vorgestellt und, ausgehend von mathematisch präzisen Annahmen, beweisbar sichere Konstruktionen entwickelt. • Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung • Pseudozufallsfunktionen, Einweg-Funktionen, Permutationen mit Falltüren • Hashfunctions und Authentifizierungscodes • Digitale Unterschriften, Einmal-Unterschriften und Zufallsorakel • Identifikationsprotokolle, Σ-Protokolle • Sichere Mehrparteienberechnungen *Contents of the course Foundations of Cryptography:* The most important primitives of modern cryptography will be presented. These include encryption schemes, digital signatures, identification protocols, and multiparty computations. In each case we will define precise security notions. Starting from precisely stated assumptions, we develop constructions that provably satisfy these security definitions. • Symmetric and asymmetric encryption schemes • Pseudorandom generators, one-way functions, trapdoor permutations • Hashfunctions and message authentication codes • Digital signatures, one-time signatures, random oracles • Identification protocols, Σ protocols • Secure multiparty computation
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Studierende verstehen wesentliche Konzepte und Methoden moderner Kryptographie. Sie können für Sicherheitsprobleme geeignete kryptographische Techniken auswählen. Sie können Basistechniken der Kryptographie kombinieren und modifizieren, neue Sicherheitskonzepte definieren und die Sicherheit der Konstruktionen bezüglich dieses Definitionen beweisen. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Einsatz und Engagement • Gruppenarbeit • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) • Selbststeuerungskompetenz

Students understand fundamental concepts and methods of modern cryptography. They are able to choose appropriate cryptographic tools for various security problems. Students are able to combine and modify basic cryptographic primitives, they are able to define new security concepts, they are able to the the security of new constructions with respect to the security concepts.
Non-cognitive Skills

- Commitment
- Team work
- Learning motivation
- Literacy (scientific)
- Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Johannes Blömer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen, Lesegruppen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II, • Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptography • Folien der Vorlesung *Remarks of course Foundations of Cryptography:* **Implementation method** Lectures, exercises, reading groups **Learning Material, Literature** • Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II, • Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptogtraphy • Slides from the lectures

Information Theory			
Information Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.24021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24021 Information Theory	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24021 Information Theory	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Information Theory:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

None

Prerequisites of course Information Theory:
**Recommended:*
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Information Theory:* Informationstheorie ist die mathematische Grundlage moderner Kommunikation, Datenkompression und statistischer Inferenz. Ursprünglich von Claude Shannon entwickelt, quantifiziert sie Information, Unsicherheit und die fundamentalen Grenzen der Datenübertragung und -speicherung. Diese Lehrveranstaltung bietet eine fundierte Einführung in die Informationstheorie. Die Studierenden lernen zentralen Konzepte wie Entropie, Transinformation, relativen Entropie und typische Sequenzen und verstehen deren operationale Bedeutung in Kompressions- und Kommunikationssystemen. Die Veranstaltung behandelt verlustfreie und verlustbehaftete Quellenkodierung, Kanalkapazität sowie die fundamentalen Grenzen zuverlässiger Kommunikation über verrauschte Kanäle. Klassische Resultate wie das Quellenkodierungstheorem und das Kanalkodierungstheorem von Shannon werden hergeleitet. Großer Wert wird auf ein intuitives Verständnis der mathematischen Konzepte sowie auf die praktische Interpretation dieser Resultate im Kontext realer Systeme gelegt. Über Kommunikationssysteme hinaus beleuchtet die Lehrveranstaltung Verbindungen zu maschinellem Lernen, Statistik, Signalverarbeitung und vernetzten Systemen. *Contents of the course Information Theory:* Information theory is the mathematical foundation of modern communication, data compression, and statistical inference. Originally developed by Claude Shannon, information theory quantifies information, uncertainty, and the fundamental limits of data transmission and storage. This course provides a first rigorous introduction to information theory. Students will learn the core concepts of entropy, mutual information, relative entropy, and typicality, and understand their operational meaning in compression and communication systems. The course covers lossless and lossy source coding, channel capacity, and the fundamental limits of reliable communication over noisy channels. Classical results such as Shannon's source coding theorem and channel coding theorem are derived from first principles. Strong emphasis will be placed on an intuitive understanding of mathematical concepts and the practical interpretation of these results in the context of real-world systems. Beyond communication systems, the course highlights connections to machine learning, statistics, signal processing, and networked systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • die grundlegenden Problemstellungen, Modelle, Werkzeuge und Ergebnisse der Shannonschen Informationstheorie und ihre Einschränkungen zu erklären; • Informationsmaße und informationstheoretische Kenngrößen auf kommunikationstechnische Problemstellungen anzuwenden und ihre operationelle Bedeutung zu erläutern; • Zusammenhänge zwischen abstrakten kommunikationstheoretischen Modellen und realistischen physikalischen Systemen zu erklären und gezielt im Systementwurf einzusetzen; • wissenschaftliche Literatur im Bereich der Informationstheorie zu verstehen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können komplexe Problemstellung abstrahieren und in lösbare Teilprobleme zerlegen; • können Mathematik als universelle Beschreibungssprache der physikalischen Welt verstehen und anwenden; • können informationstheoretische Konzepte und Ergebnisse auf Fragestellungen außerhalb der Nachrichtentechnik übertragen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- explain fundamental questions, models, tools, and results of Shannon's information theory;
- apply information-theoretic measures to assess the quality processing blocks of communication systems and explain the operational meaning;
- explain the relationship between abstract communication-theoretic models and realistic physical systems and apply them purposefully in system design;
- understand scientific documents in information theory.

Key qualifications:
The students

- can abstract complex problems and decompose them into solvable subproblems;
- are able to understand and apply mathematics as a universal language for describing the physical world;
- can transfer information-theoretic concepts and results to problems beyond the field of communications engineering.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:* Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind. Zu den behandelten Themen gehören: • Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite • Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen • Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission • Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb • Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung • Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser • Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser • Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme *Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:* Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory. Topics covered include: • Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth • State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits • Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission • Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing • Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding • Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers • Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers • Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optical Communication A			
Optical Communication A			
Modulnummer / Module number: M.048.92019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication A:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication A:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication A:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik A vermittelt Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Optischen Nachrichtentechnik und der hierbei verwendeten optischen Komponenten. **Inhalt** Maxwell-Gleichungen, Wellenausbreitung, Polarisation, dielektrische Schichtwellenleiter und kreiszylindrische Wellenleiter, Dispersion, Laser, Photodioden, optische Verstärker, Modulation, Signalformate, optische Empfänger, Rauschen, Regeneratoren, Wellenlängenmultiplex. Hier werden die wichtigsten Zusammenhänge vermittelt. *Contents of the course Optical Communication A:* **Short Description** The lecture Optical Communication A gives basic knowledge in Optical Communication and the components used in this field. **Contents** Maxwell's equations, wave propagation, polarization, dielectric slab and cylindrical waveguides, dispersion, laser, photodiodes, optical amplifiers, modulation, signal formats, optical receivers, noise, regenerators, wavelength division multiplex. Here the most important knowledge is taught.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence** After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to • describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and • apply knowledge of optoelectronics **(Soft) Skills** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication A:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag *Remarks of course Optical Communication A:* **Course Homepage** `http://ont.upb.de` **Teaching Material, Literature** Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt): • R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication B			
Optical Communication B			
Modulnummer / Module number: M.048.92020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication B:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication B:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik B vermittelt Kenntnisse auf dem Gebiet der Modenkopplung in der Optischen Nachrichtentechnik und erklärt damit die Funktion vieler optischer Komponenten. **Inhalt** Modenkopplung: Polarisationsmodendispersion, Modenorthogonalität, konstante und periodische, ko- und kontradirektionale Modenkopplung, Profile differentieller Gruppenlaufzeit, elektrooptischer Effekt. Die Funktion vieler passiver und aktiver optischer Elemente wird so erklärt, u.a. Amplituden- und Phasenmodulatoren, breitbandige und wellenlängenselektive Koppler, Bragg-Gitter, polarisationserhaltende Lichtwellenleiter, Polarisationstransformatoren, Entzerrer für Polarisationsmodendispersion und chromatische Dispersion. *Contents of the course Optical Communication B:* **Short Description** The lecture Optical Communication B gives some knowledge about mode coupling in Optical Communication and explains the function of many optical components. **Contents** Mode Coupling: Polarization mode dispersion, moden orthogonality, constant and periodic, co- and counterdirectional mode coupling, profiles of differential group delay, electrooptic effect. The function of many passive and active optical elements is thereby explained, among others amplitude and phase modulators, broadband and wavelength-selective couplers, Bragg gratings, polarization-maintaining fibers, polarization transformers, equalizers for polarization mode dispersion and chromatic dispersion.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication B:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication C			
Optical Communication C			
Modulnummer / Module number: M.048.92021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication C:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication C:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung und Übung Optische Nachrichtentechnik C vermittelt Kenntnisse über verschiedene optische Modulations- und Demodulationsverfahren. **Inhalt** Modulationsverfahren: Datenübertragung mit differentieller binärer und quaternärer Phasenumtastung und optischen Verstärkern, Polarisationsmultiplex, kohärente optische Datenübertragung, Synchrondemodulation, Asynchrondemodulation, kohärente Basisbandempfänger, Polarisationsdiversität, elektronische Kompensation optischer Verzerrungen wie z.B. elektronische Polarisationregelung und elektronische Kompensation von Polarisationsmodendispersion und chromatischer Dispersion, Phasenrauschen, weitere Modulationsverfahren. Fortschrittliche Modulationsverfahren sind eine wichtige Möglichkeit zur Weiterentwicklung leistungsfähiger optischer Nachrichtenübertragungssysteme. *Contents of the course Optical Communication C:* **Short Description** The lecture Optical Communication C gives knowledge in various optical modulation and demodulation techniques. **Contents** Modulation Formats: Data transmission by differential binary and quaternary phase shift keying in the presence of optical amplifiers, polarization division multiplex, coherent optical data transmission, synchronous and asynchronous demodulation, coherent baseband receivers, polarization diversity, electronic compensators of optical distortions like electronic polarization control and electronic compensation of polarization mode dispersion and chromatic dispersion, phase noise, other modulation formats. Advanced modulation formats are an important possibility for the upgrading of high-performance optical information transmission systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication C:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optimale und Adaptive Filter			
Optimal and Adaptive Filters			
Modulnummer / Module number: M.048.24010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24010 Optimale und Adaptive Filter	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24010 Optimal and Adaptive Filters	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Digitale Signalverarbeitung.

None

Prerequisites of course Optimale und Adaptive Filter:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Digital Signal Processing.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung „Optimale und adaptive Filter“ führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur adaptiven Filterung ein. Aufbauend auf den Grundlagen der Schätztheorie werden zunächst optimale Filter diskutiert. Anschließend werden die Wiener Filter Theorie, die deterministische Optimierung unter Randbedingungen und die stochastischen Gradientenverfahren betrachtet. Abschließend werden der Least Squares Ansatz zur Lösung von Filteraufgaben und der Kalman Filter vorgestellt. Letzterer ist als Einführung in das Themengebiet der zustandsbasierten Filterung anzusehen.
Inhalt

- Klassische Parameterschätzung
  - Schätzung und Schätzer
  - MMSE-Schätzung
  - Lineare Schätzer
  - Orthogonalitätsprinzip
  - Bewertung der Güte von Schätzern
- Wiener Filterung
  - Wiener-Hopf Gleichung
  - AR- und MA-Prozesse
  - Lineare Prädiktion
- Iterative Optimierunsverfahren
  - Gradientenan/abstieg
  - Newton-Verfahren
- Lineare adaptive Filterung
  - LMS-Algorithmus
  - Least-Squares Methode
  - Blockweise und rekursive adaptive Filter
  - Realisierungsaspekte
- Zustandsmodellbasierte Filter
  - Kalman Filter
- Anwendungen
  - Systemidentifikation
  - Kanalschätzung und -entzerrung
  - Mehrkanalige Sprachsignalverarbeitung
  - Geräusch- und Interferenzunterdrückung

Contents of the course Optimale und Adaptive Filter:
Short Description
The course “Optimal and adaptive filters” gives an introduction to the basic techniques and theories of adaptive filters. Based upon the basics of estimation theory optimal filters are discussed. Subsequently the topics Wiener filter theory, deterministic optimization under constraints and stochastic gradient methods are regarded. Concluding the Least Squares approach for solving filter tasks and the Kalman filter are introduced. The latter is regarded as a brief introduction to state based filters.
Contents

- Classic parameter estimation
  - Estimators
  - MMSE-Estimation
  - Linear estimators
  - Orthogonality principle
  - Evaluation of estimators
- Wiener filter
  - Wiener-Hopf equation
  - AR- and MA processes
  - Linear prediction
- Iterative optimization methods
  - Gradient ascent/descent
  - Newton method
- Linear adaptive filters
  - LMS algorithm
  - Least-Squares method
  - Blockwise and recursive adaptiv filters
  - Realization aspects
- Statemodel based filters
  - Kalman filter
- Applications
  - System identification
  - Channel estimation and equalization
  - Multi-channel speech signal processing
  - Noise and interference suppression

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Problemstellungen im Bereich der adaptiven Filterung zu analysieren und Anforderungen mathematisch zu formulieren
- Filter anhand von Kostenfunktionen zu entwickeln und
- ausgewählte adaptive Filter im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können theoretische Ergebnisse in praktische Realisierungen überprüfen,
- können theoretische Ansätze mittels methodenorientiertem Vorgehen einer systematischen Analyse unterziehen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze task on the field of adaptive filters and to formulate requirements mathematically,
- develop filter using cost functions and
- implement selected adaptive filters in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to check theoretical results using practical realizations,
- are able to undertake theoretical approaches a systematic analysis using methodical procedures and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/optimale-und-adaptive-filter` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

	Remarks of course Optimale und Adaptive Filter: **Course Homepage** `https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/optimal-and-adaptive-filter` **Implementation** • Lectures using the blackboard and presentations, • Alternating theoretical and practical exercises classes with exercise sheets and computer and • Demonstration of real technical systems in the lecture hall. **Teaching Material, Literature** Allocation of a script; information on textbooks; matlab scripts

Optoelectronics			
Optoelectronics			
Modulnummer / Module number: M.048.26011	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optoelectronics:
Keine

None

Prerequisites of course Optoelectronics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optoelectronics:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optoelectronics vermittelt alle grundlegenden Aspekte optoelektronischer Bauelemente, beginnend bei den Halbleitermaterialien und deren Wechselwirkung mit Licht bzw. Photonen, über die elektronischen Aspekte der Bauelemente bis hin zur Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Optimierung moderner Bauelemente für die jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. in Beleuchtungssystemen, zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, für breitbandige optische Kommunikationssysteme oder in der Medizintechnik. **Inhalt** Im ersten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen von Halbleitern (Gitterstruktur, Bandstruktur, direkt-indirekte Halbleiter, Dotierung, entartete und nicht entartete Halbleiter, Heterostrukturen, Quanteneffekte in niederdimensionalen Halbleitern) rekapituliert. Anschließend werden die elementaren Wechselwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, stimulierte Emission, spontane Emission) und die elektronischen Aspekte der Bauelemente (p-n-Übergang, Heteroübergänge) behandelt. Anschließend werden die wichtigsten Bauelemente: Solarzellen, Photodioden, Leuchtdioden und Halbleiterlaser detailliert besprochen und ihre wichtigsten Parameter und Optimierungsstrategien diskutiert. *Contents of the course Optoelectronics:* **Short description** The lecture Optoelectronics covers the fundamental aspects of optoelectronic devices, starting with semiconductor materials and their interaction with light and photons, to the electronic aspects of the components, and finally to the use of quantum mechanical effects to optimise modern components for their respective areas of application, such as in lighting systems, renewable energy, broadband optical communication systems or in medical technology. **Contents** In the first part of the lecture, the basics of semiconductors (lattice structure, band structure, direct-indirect semiconductors, doping, degenerate and non-degenerate semiconductors, heterostructures, quantum effects in low-dimensional semiconductors) are recapitulated. The elementary interactions between light and semiconductors (absorption, stimulated emission, spontaneous emission) and the electronic aspects of the components (p-n junction, heterojunctions) are then covered. Finally, the most important devices such as solar cells, photodiodes, light-emitting diodes and semiconductor lasers are discussed in detail and their most important parameters and optimisation strategies are explained.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von optoelektronischen Halbleiterbauelementen auf der Grundlage klassischer und grundlegender quantenmechanischer Beschreibungen zu erklären,
- die wichtigsten Konzepte von optoelektronischen Halbleiterbauelementen (Fotodioden, Solarzellen, Leuchtdioden, Halbleiterlaser) zu beschreiben,
- und verschiedene Bauelementdesigns entsprechend ihren Anwendungsanforderungen zu kategorisieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können methodisches Wissen für die systematische Problemanalyse in einer Vielzahl von Disziplinen nutzen,
- werden in der Lage sein, sich dank der umfassenden Grundausbildung selbstständig in neue Generationen von Halbleiterbauelementen einzuarbeiten,
- werden mit Ratengleichungsmodellen zur Simulation stationärer und dynamischer Eigenschaften in gekoppelten Systemen vertraut gemacht,
- und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenzen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- explain the basic physical properties of optoelectronic semiconductor devices based on classical and fundamental quantum mechanical descriptions,
- to describe the main concepts of optoelectronic semiconductor devices (photodiodes, solar cells, light emitting diodes, semiconductor lasers),
- categorize different device designs according to their application requirements.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis for a wide range of disciplines,
- will be in position to familiarise themselves independently with new generations of semiconductor devices, thanks to the comprehensive fundamental training received,
- get familiar to rate-equation models to simulate steady-state and dynamic characteristics in coupled systems,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Nils Christopher Gerhardt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lehrveranstaltungsseite** [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Modulseite** wird bei Vorlesungsstart bekannt gegeben **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsskript und Handouts zum Tutorial; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Course Homepage [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Module Homepage** to be announced at the start of the lecture **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture notes and handouts for the tutorial; literature references will be given in the first lecture

Real World Crypto Engineering			
Real World Crypto Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.01286	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05819 Real World Crypto Engineering	V3 Ü2	75	105	P	40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05819 Real World Crypto Engineering	L3 Ex2	75	105	C	40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Basiskenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Kryptographie

Prerequisites of course Real World Crypto Engineering:
Recommended Proficiencies
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:
Starke Kryptographie ist nicht immer ausreichend, um die grundlegenden Sicherheitsziele zu schützen. Auch wenn starke kryptographische Algorithmen verwendet werden, kann bei deren Einsatz viel schief gehen. In dieser Vorlesung werden wir auf die wichtigsten Protokolle und kryptographische Schutzmechanismen eingehen (z.B. TLS, SSH, WPA) und werden ihre Basiskonzepte kennenlernen. Anschließend werden wir prominente Angriffe vorstellen, die die gewünschten Sicherheitsziele komplett gebrochen haben. Basierend auf vielen Fällen werden wir lernen, was beim Design und bei der Implementierung von kryptographischen Anwendungen wichtig ist.

Contents of the course Real World Crypto Engineering:
Strong cryptography is not always sufficient to protect primary security goals. Even if strong cryptographic algorithms are used, a lot can go wrong when they are implemented. This lecture will dive into the most important protocols and cryptographic protection mechanisms (e.g., TLS, SSH, WPA) and show their basic concepts. Then, we will present prominent attacks that ultimately break the desired security goals. Based on many cases, we will learn what is essential when designing and implementing cryptographic applications.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Studierende verfügen nach erfolgreichem Abschluss über ein umfassendes Verständnis der technischen Aspekte von angewandten kryptographischen Algorithmen. Sie haben erkannt, dass Kryptographie alleine nicht ausreicht, um sicherheitstechnische Probleme zu lösen. Sie haben einen Überblick über aktuelle kryptographische Angriffe und wissen, wie man diese praktisch verhindert.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Gruppenarbeit
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

Upon successful completion, students have a comprehensive understanding of the technical aspects of applied cryptographic algorithms. They have recognized that cryptography alone is not sufficient to solve security-related problems. They have an overview of current cryptographic attacks and know how to practically prevent them.
Non-cognitive Skills

- Team work
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 min bzw. 40 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 min or 40 min	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet.

The module is weighted as 6 credits.

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr.-Ing. Juraj Somorovsky

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien der Vorlesung, wissenschaftliche Artikel *Remarks of course Real World Crypto Engineering:* **Implementation method** Lectures, exercises **Learning Material, Literature** Lecture slides, scientific papers

Routing and Data Management in Networks			
Routing and Data Management in Networks			
Modulnummer / Module number: M.079.01271	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05806 Routing and Data Management in Networks	V3 Ü2	75	105	WP	40/20

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05806 Routing and Data Management in Networks	L3 Ex2	75	105	CE	40/20

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Routing and Data Management in Networks:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen-Entwurf, theoretische Korrektheit und Effizienzbeweise, Werkzeuge aus der Kombinatorik und Wahrscheinlichkeitstheorie.

Prerequisites of course Routing and Data Management in Networks:
Recommended Proficiencies
Algorithm design, theoretical correctness and efficiency proofs, tools from combinatorics and probability theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Routing and Data Management in Networks:* Routing und Datenmanagement sind grundlegenden zu lösende Aufgaben, um eine effiziente Verwendung von großen Netzwerken wie z.B. dem Internet, Peer-to-Peer-Systemen, oder drahtlosen mobilen Ad-hoc-Netzwerke zu ermöglichen. Diese Vorlesung befasst sich mit Algorithmen und deren Analyse für das Routing und Datenmanagement in solchen Systemen und beschreibt insbesondere Methoden für den Umgang mit ihrer Dynamik (Bewegung von Knoten, Beitritt und Austritt von Knoten). Dabei werden insbesondere lokale, verteilte Algorithmen, häufig als online Algorithmen betrachtet. • Offline- und Online-Routing-Strategien • Scheduling-Strategien • Datenmanagement-Strategien *Contents of the course Routing and Data Management in Networks:* Routing and data management are fundamental tasks to be solved in order to ensure efficient use of large networks, e.g. the Internet, peer-to-peer systems, or wireless mobile ad-hoc networks. This lecture deals with algorithms and their analysis for routing and data management in such systems and describes, in particular, methods for dealing with their dynamics (movement of nodes, joining and exiting nodes). In particular, local, distributed algorithms, often as online algorithms, are considered. • Offline and online routing strategies • Scheduling strategies • Data management strategies
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden lernen die wichtigsten Techniken im Bereich des Routing und Datenmanagements von großen Netzwerken kennen. Sie können entscheiden, in welcher Situation welcher Datenmanagement-, Scheduling- oder Routing-Algorithmus geeignet ist. Sie können Algorithmen an neue Situationen anpassen. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Haltung und Einstellung • Selbststeuerungskompetenz The students get to know fundamental techniques in the area of routing and data management of large networks. They can decide in which situation which data management, scheduling, or routing algorithm is most appropriate. They can adapt algorithms to a new situation. **Non-cognitive Skills** • Attitude • Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Friedhelm Meyer auf der Heide
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Routing and Data Management in Networks:* **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb • Übungen in Kleingruppen • erwartete Aktivitäten der Studierenden: Bearbeitung der Hausaufgaben, Mitarbeit in den Übungen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Introduction to Parallel Algorithms and Architectures: Arrays, Trees, Hypercubes, Frank Thomson Leighton, M. Kaufmann Publishers, 1992. • Originalarbeiten, Skript, Foliensatz der Vorlesung, Übungsblätter *Remarks of course Routing and Data Management in Networks:* **Implementation method** • Lecture with beamer and blackboard • Practice in small groups • Expected activities of the students: Solving homework exercises, contributing to the tutorials **Learning Material, Literature** • Introduction to Parallel Algorithms and Architectures: Arrays, Trees, Hypercubes, Frank Thomson Leighton, M. Kaufmann Publishers, 1992. • Research papers, script, slide set of the lecture, exercise sheets

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Modulnummer / Module number: M.048.26013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-.3 Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:
Empfohlen:

- Wissen über elektromagnetische Felder und Wellen
- Erfahrung mit MATLAB-/Python-Skripting wäre von Vorteil

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* **Recommended:** Knowledge on electromagnetic fields and waves Experience with MATLAB/Python scripting would be beneficial
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* • Einführung – Historische Entwicklung der integrierten Photonik und ihre heutige Bedeutung – Kurzer Überblick über die erforderlichen theoretischen Grundlagen * Elektromagnetische Wellen und Maxwell-Gleichungen * Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in verschiedenen Medien • Theorie optischer Wellenleiter: Bauelement Nr. 0 – Analyse eindimensionaler (1D) Wellenleiter * Strahlenoptisches Modell * Vektorwellengleichung und Randbedingungen – Analyse zweidimensionaler (2D) Wellenleiter * Überblick über Wellenleiterplattformen und die Methode des effektiven Brechungsindex * Überblick über die vollvektorielle Methode * Dispersion, Polarisation und Orthogonalität geführter Moden • Theorie gekoppelter Moden: analytische Formulierung • Passive integriert-photonische Bauelemente – Richtkoppler (DC): Bauelement Nr. 1 – Multimoden-Interferometer (MMI): Bauelement Nr. 2 – Verteilter Bragg-Reflektor (DBR): Bauelement Nr. 3 • Abstimmbare/aktive integriert-photonische Bauelemente – Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) / -Modulator (MZM): Bauelement Nr. 4 – Mikroringresonatoren (MRR) / -Modulator (MRM): Bauelement Nr. 5 – Überblick über Phasenschieber: thermisch, elektro-optisch und MEMS-basiert • Fertigungsvariabilität und Toleranzen integriert-photonischer Bauelemente • Überblick über die Analyse photonischer integrierter Schaltkreise (PICs), Einführung in die Kompaktmodellierung und die elektronisch-photonische Entwurfsautomatisierung (EPDA)

Contents of the course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:

- Introduction
  - Historical evolution of integrated photonics and relevance in today's world
  - Brief overview on the required background theory
    - Electromagnetic waves and Maxwell's equations
    - EM waves propagation in different media
- Theory of optical waveguides: Device #0
  - 1-D waveguide analysis
    - Ray optics model
    - Vector wave equation and boundary conditions
  - 2-D waveguide analysis
    - Overview of waveguide platforms and effective index method
    - Overview of the full vectorial method
    - Dispersion, polarization and orthogonality of guided modes
- Coupled-mode theory: analytical formulation
- Passive integrated photonic devices
  - Directional coupler (DC): Device #1
  - Multi-mode interferometers (MMI) : Device #2
  - Distributed Bragg reflector (DBR): Device #3
- Tunable/active integrated photonic devices
  - Mach-Zehnder interferometer (MZI) / modulator (MZM): Device #4
  - Microring resonators (MRR) / modulator (MRM): Device #5
  - Overview of phase shifters: thermal, electro-optic and MEMS-based
- Fabrication variability and tolerances of the integrated photonic devices
- Overview of photonic integrated circuit (PIC) analysis, introduction to compact-modeling and electronic-photonic design automation (EPDA)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis der Funktionsweise und der theoretischen Grundlagen integrierter photonischer Bauelemente, der bei deren Design bestehenden Einschränkungen sowie der Strategien zu deren Überwindung.

Understanding the working and fundamental theory of integrated photonic devices, constraints involved in the device designs and overcoming strategies.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Ashitosh Velamuri
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Theory and Design of Phase-locked Loops			
Theory and Design of Phase-locked Loops			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24020	180	6	Wintersemester
	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	1.-3. Semester	1	en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:
Empfohlen:

- Fortgeschrittene Signaltheorie
- Statistische Signalverarbeitung (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Bachelor-Lehrplan)
- Schaltungs- und Systementwurf (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Lehrplan im Bachelorstudium

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Phase-locked Loops:* **Recommended:** • Advanced Signal Theory • Statistical Signal Processing (or another course with comparable syllabus in their bachelor) • Circuit and system design (or another course with comparable syllabus in their bachelor)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:* Kapitel 1: Motivation • Definition von Zeit und Frequenz – Definition in SI-Einheiten – statischer Frequenzfehler • Zufallsschwankungen – Amplituden-/Phasenrauschen (AM/PM) Kapitel 2: Mathematischer Formalismus von Signalen • Basisband- und Bandpass-Signale • Zeit- und Frequenzbereich Kapitel 3: Einführung in Zufallsprozesse • Basisband-Zufallsprozesse und Rauschen – Korrelationsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich – einige Basisband-Zufallsprozesse (thermisches Rauschen, Schrotrauschen, Flickerrauschen . . .) • Bandpass-Zufallsprozesse – Korrelationsfunktionen – Beziehung zu Basisbandprozessen – Phasenrauschen und Amplitudenrauschen Kapitel 4: PLL-Bausteine • Phasendetektor – Phasendetektor-Modell – Phasenrauschen des Phasendetektors • VCO – VCO-Modell – Phasenrauschen des VCO • Frequenzumsetzer – Frequenzteiler – Frequenzmultiplikator – Phasenrauschen von Frequenzumsetzern • Entwurf von PLL-Blöcken auf Transistorebene Kapitel 5: Integer N PLLs: – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen Kapitel 6: Fractional PLLs – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen

Contents of the course Theory and Design of Phase-locked Loops:
Chapter 1: Motivation

- Time and frequency definition – definition in SI units – static frequency error
- random fluctuations – Amplitude/Phase (AM/PM) noise

Chapter 2: Mathematical formalism of signals

- baseband and bandpass signals
- time and frequency domain

Chapter 3: introduction to random processes

- baseband random processes and noise – correlation functions in time and frequency domain – some basedband random processes (thermal noise, shot noise, flicker noise . . .)
- bandpass random processes – correlation functions – relation to baseband processes – phase noise and amplitude noise

Chapter 4: PLL building blocks

- Phase detector – Phase detector model – phase noise of phase detector
- VCO – VCO model – phase noise of VCO
- Frequency translators – frequency divider – frequency multiplier – phase noise of frequency translators
- transistor level design of PLL blocks

Chapter 5: Integer N PLLs: – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies
Chapter 6: Fractional PLLs – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis des statischen/dynamischen Fehlers in Frequenznormalen. Mathematische Modellierung von Amplituden-/Phasenrauschen. Modellierung von Zufallsprozessen im Zeit- und Frequenzbereich. Grundlegende und moderne PLL-Architektur und ihre Bausteine. Systematischer Entwurf von PLLs. Entwurf und Modellierung von Integer/Fractional N PLL.

Understanding of static/dynamic error in frequency standards. Mathematical modeling of amplitude/phase noise. Modeling random processes in time and frequency domain. Basic and modern PLL architecture and its building blocks. Systematic design of PLLs. Design and Modeling of Integer/Fractional N PLL.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Meysam Bahmanian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Module Homepage `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Topics in Signal Processing			
Topics in Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.92014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Empfohlen: Signal- und Systemtheorie, mindestens Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und linearen Algebra

None

Prerequisites of course Topics in Signal Processing:
Recommended: Signal and system theory, at least a basic understanding of probability and linear algebra

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Kurzbeschreibung
Diese Veranstaltung behandelt eine Auswahl von aktuellen Themen in der Signalverarbeitung. Ein Teil der Veranstaltung besteht aus regulären Vorlesungen, wohingegen der andere aktive Mitarbeit von Studenten voraussetzt.
Inhalt
Zunächst werden in diesem Kurs relevante Aspekte aus der linearen Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie wiederholt. Danach werden Studenten angeleitet, aktuelle Veröffentlichungen aus der Signalverarbeitungsliteratur zu lesen, zu analysieren und dann auch zu präsentieren.

Contents of the course Topics in Signal Processing:
Short Description
This course covers a selection of current topics in signal processing. One part of this course will follow a regular lecture format, while the other part will require active student participation.
Contents
This course will first review relevant aspects of linear algebra and probability theory. Then students will learn how to read, analyze, and present recent papers from the signal processing literature.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In dieser Veranstaltung werden Studenten mit aktuellen Forschungsthemen in der Signalverarbeitung vertraut gemacht. Studenten lernen, wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verstehen und kritisch zu bewerten. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden.

In this course, students will familiarize themselves with some current research topics in signal processing. They will learn to read and understand scientific publications and to critically evaluate results. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Peter Schreier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Übung mit aktiver Beteiligung der Studenten, Präsentationen von Studenten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben. *Remarks of course Topics in Signal Processing:* **Course Homepage** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Implementation** Lectures and tutorials with active student participation, student presentations **Teaching Material, Literature** References will be given in the first lecture.

Web Security			
Web Security			
Modulnummer / Module number: M.079.01284	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05820 Web Security	V3 Ü2	75	105	P	40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05820 Web Security	L3 Ex2	75	105	C	40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Web Security:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Basiskenntnisse in Kryptographie

Prerequisites of course Web Security:
Recommended Proficiencies
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Web Security:* Moderne Webapplikationen und Webservices sind oft vielschichtig und basieren auf unterschiedlichen (oft komplexen) Technologien, die ständig weiterentwickelt werden. Deren Komplexität ist oft der Grund für neuartige Angriffe, die im Web-Bereich täglich zu sehen sind. In dieser Vorlesung werden wir auf die wichtigsten Technologien eingehen und lernen, worauf man bei der sicheren Web-Entwicklung achten muss. Dabei werden wir prominente und weit verbreitete Angriffe vorstellen und zeigen, wie man die verhindert. Dazu gehören typische Angriffe aus der OWASP Top 10 Liste wie XSS oder SQL Injection bis hin zu Angriffen auf Webservices und Single Sign-On Standards (wie SAML und OpenID Connect). Basierend auf vielen Fällen werden wir lernen, was beim Design und bei der Implementierung von Webapplikationen wichtig ist. *Contents of the course Web Security:* Modern web applications and web services usually consist of multiple layers. They are based on different (often complex) technologies that are constantly being developed. Their complexity is often the reason for new types of attacks that can be observed on the web every day. In this lecture, we will focus on the most important technologies and learn what you have to consider while securing your web applications. We will introduce prominent and widespread attacks and show how to prevent them. These range from typical attacks from the OWASP Top 10 list, such as XSS or SQL Injection, to attacks on web services and Single Sign-On standards (e.g., on SAML and OpenID Connect). Based on many cases, we will learn what is important in the design and implementation of secure web applications.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Studierende verfügen nach erfolgreichem Abschluss über ein umfassendes Verständnis der technischen Aspekte von Webapplikationen, Webservices und diversen Authentizierungsmechanismen. Sie haben erkannt, dass die heutzutage eingesetzten Web-Technologien vielschichtig sind und dass deren Komplexität viele Sicherheitsprobleme mit sich bringt. Studierende haben einen Überblick über aktuelle Web-Angriffe und wissen wie man diese praktisch verhindert. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) After successful completion, students have a comprehensive understanding of the technical aspects of web applications, web services, and various authentication mechanisms. They have learned that the web technologies used today are complex and that their complexity poses many security problems. Students have an overview of current web attacks and know how to prevent them practically. **Non-cognitive Skills** • Team work • Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 min bzw. 40 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 min or 40 min	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet.

	The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Juraj Somorovsky
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Web Security:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Folien der Vorlesung • Wissenschaftliche Artikel *Remarks of course Web Security:* **Implementation method** Lecture with exercises **Learning Material, Literature** • Lecture slides • Scientific papers

Wireless Communications			
Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.24022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30 / 30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30 / 30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Wireless Communications:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

Prerequisites of course Wireless Communications:
Recommended:
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, Signal Theory, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Wireless Communications:* Die Veranstaltung vermittelt den Studierenden wichtige Grundkenntnisse, die für das Verständnis der Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme notwendig sind. Ausgehend von einem physikalischen Verständnis des Mobilfunkkanals, insbesondere der Phänomene Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekt, wird die physikalische und statistische Modellierung von zeitvarianten Kommunikationssystemen dargestellt. Anschließend werden wichtige Diversitätsverfahren zur kanalangepassten Übertragung sowie Mehrfachzugriffsverfahren vorgestellt. *Contents of the course Wireless Communications:* The course provides students with important basic knowledge necessary for understanding the transmission concepts of modern mobile communication systems. Starting with a physical understanding of the mobile communications channel, in particular the phenomena of multipath propagation and the Doppler effect, the physical and statistical modeling of time-varying communication systems is presented. Subsequently, important diversity techniques for channel-adaptive transmission and multiple access techniques are introduced.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • grundlegende Ausbreitungsmechanismen im Mobilfunkkanal zu erklären; • physikalische und statistische Modelle zeitvarianter Kommunikationskanälen zu beschreiben und verwenden; • Fading-Prozesse zu analysieren und ihre Auswirkung auf die Übertragungszuverlässigkeit zu bewerten; • Diversitätsverfahren und ihre Bedeutung für robuste drahtlose Übertragungen zu erläutern; • gängige Mehrfachzugriffsverfahren zu erklären, vergleichen und bewerten; • Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme zu beurteilen; • theoretische Kanalmodelle mit praktischen Aspekten des Systementwurfs zu verknüpfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • haben ausgeprägte analytische und mathematische Kompetenzen; • können komplexe physikalische Phänomene in ingenieurwissenschaftlichen Modellen abstrahieren; • können analytische Ergebnisse auf Systemebene interpretieren; • sind in klarer und präziser technischer Kommunikation geübt (mündlich und schriftlich); • können selbstständig Lernen und sich kritisch mit technischer Fachliteratur auseinandersetzen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- understand the fundamental propagation mechanisms in mobile radio channels;
- describe and apply physical and statistical modeling principles to time-varying communication channels;
- analyze fading processes and asses their impact on transmission reliability;
- explain diversity techniques, apply them to design physical layer signal processing algorithms, and assess their impact on transmission reliability;
- explain, compare, and evaluate common multiple access schemes;
- assess transmission concepts employed in contemporary mobile communication systems;
- connect theoretical channel models with practical system design considerations.

Key qualifications:
The students

- have strong analytical and mathematical reasoning skills;
- have the ability to abstract complex physical phenomena into engineering models;
- can interpret analytical results at the system level;
- have experience in clear and precise technical communication (oral and written)
- can learn independently and engage critically with technical literature.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung von Vorlesungsfolien; ausgiebige Literaturhinweise zu jeder Vorlesung. **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Lecture slides and reading assignments for each lecture; additional reading suggestions.

3.2 Vertiefungsgebiet “Computer Systems”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Computer Systems / Computer Systems
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * Approximate Computing * Databases and Information Systems * Introduction to Quantum Computation * Machine Learning I * Reconfigurable Computing * Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies * Usable Security and Privacy * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Rechnersysteme. Im Vordergrund stehen dabei die Analyse und Bewertung von Rechnerarchitekturen, systematische Methoden für den Entwurf und die Optimierung von Computersystemen, insbesondere das Zusammenspiel von Hardware und Software, sowie Programmiermodelle und -methoden für die stark an Bedeutung gewinnenden parallelen und spezialisierten Rechnerarchitekturen.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / **Module number:**	**Workload (h):**	**Leistungspunkte** / **Credits:**	**Turnus** / **Regular Cycle:**
M.048.92043	180	6	Sommersemester
	Studiensemester / **Semester number:**	**Dauer (in Sem.)** / **Duration (in sem.):**	**Sprache** / **Teaching Language:**
	1.-3. Semester	1	en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Approximate Computing			
Approximate Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.01278	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	V3 Ü2	75	105	P	100/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	L3 Ex2	75	105	C	100/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Modulen Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Approximate Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design and Computer Architecture are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Approximate Computing:* Approximate Computing ist ein aktueller Ansatz, der die Genauigkeit von Berechnungen reduziert und dadurch signifikante Einsparungen im Energieverbrauch, der Rechenzeit oder der Chipfläche erzielt. Dieser forschungsorientierte Kurs führt in das Gebiet des Approximate Computing ein und stellt die wesentlichen Methoden für die Implementierung effizienter Rechnersysteme durch Reduktion der Genauigkeit vor. Der Kurs behandelt Approximationstechniken auf allen Ebenen eines Rechnersystems, von der Anwendungsebene bis hin zur Ebene der Hardwaretechnologie. In den Übungen/Tutorium wird die Effizienz dieser Techniken für verschiedene Anwendungsdomänen, wie zum Beispiel Deep Learning und Digital Signal Processing, untersucht. • Einführung und Motivation für ungenaues Rechnen • Approximation in der Anwendungsebene, z.B. für maschinelles Lernen und digitale Signalverarbeitung • Programmiersprachen/Compiler für Approximate Computing • Approximation in der Mikroarchitektur • Automatisierte Synthese von approximierten Schaltungen • Ungenaue arithmetische Komponenten und Performanceoptimierung durch Reduktion der Genauigkeit • Approximationstechniken in der Technologieebene • Übungen/Tutorial: Approximation von Algorithem des Deep Learning und Digital Signal Processing *Contents of the course Approximate Computing:* Approximate Computing is an emerging paradigm that trades-off computational accuracy for a significant reduction in energy, execution time, or chip area. This research-oriented course introduces to the field of Approximate Computing and its most remarkable aspects, and explains the main methods used to implement efficient computing systems by reducing accuracy. The course discusses approximations at all levels of a computing system, from applications down to hardware technologies. In exercise/tutorial sessions the efficiency of these techniques in various domains are examined, including deep learning and digital signal processing. • Introduction and motivation for approximate computing • Approximation at the application level, e.g., in machine learning and digital signal processing • Programming languages/compilers for approximate computing • Approximate microarchitectures • Automated synthesis of approximate circuits • Inexact arithmetic components and performance optimization via accuracy trade-offs • Approximation techniques at the technology level • Exercises/tutorial: Approximating deep learning and digital signal processing algorithms

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die Approximationstechniken auf den unterschiedlichen Ebenen eines Rechnersystems zu benennen und zu erklären,
- die wesentlichen technischen/wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Approximation von Rechnersystemen zu identifizieren,
- die Einsetzbarkeit der Approximationstechniken für verschiedene Anwendungsdomänen zu beurteilen und
- die Approximationstechniken anzuwenden, um effiziente Hardwarebeschleuniger zu realisieren, insbesondere für Deep Learning und Digital Signal Processing

After attending this course, the students are able

- to name and explain approximation techniques at all levels of a computing system,
- to identify major engineering/research problems when building approximate computing systems,
- to judge the suitability of approximation techniques for different application domains, and
- to apply approximation techniques to realize efficient hardware accelerators, in particular for deep learning and digital signal processing

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Voraussetzung für die Teilnahme an der Prüfungsleistung ist die Studienleistung über die Lehrveranstaltung “Approximate Computing”. Prerequisite for the participation in the examination is the study achievement in the course “Approximate Computing”.
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Methodische Umsetzung

- Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb
- Interaktive Übungen/Diskussionen im Hörsaal
- Rechnerübungen

Lernmaterialien, Literaturangaben

- Vorlesungsfolie und Aufgabenblätter
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Zusätzliche Ressourcen und Links auf aktuelle Publikationen werden in der Vorlesung zur Verfügung gestellt.

Remarks of course Approximate Computing:
Implementation method

- Lecture with projector and black/white board
- Interactive exercises/discussions in the lecture room
- Computer-based tutorials

Learning Material, Literature

- Lecture slides, exercise sheets, and tutorial assignments
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Additional resources and links to current research papers are provided in the lecture.

Databases and Information Systems			
Databases and Information Systems			
Modulnummer / Module number: M.079.01260	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05532 Databases and Information Systems	V3 Ü2	75	105	WP	120/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05532 Databases and Information Systems	L3 Ex2	75	105	CE	120/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Databases and Information Systems:
Empfohlene Vorkenntnisse
Studierende sollten Vorkenntnisse in relationalen Datenbanken und SQL haben, die in etwa denen der Vorlesung “Datenbanksysteme” entsprechen, sowie Vorkenntnisse im Programmieren, die in etwas denen der Vorlesungen “Programmierung” und “Grundlagen der Programmiersprachen” entsprechen.

Prerequisites of course Databases and Information Systems:
Recommended Proficiencies
Students are required to have previous knowledge of relational database systems and SQL comparable to the course “Datanbanksysteme” and programming knowledge and skills comparable to the courses “Programming” and “Grundlagen der Programmiersprachen”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Databases and Information Systems:* Datenspeicherung und Datenmanagement spielen eine zentrale Rolle in Unternehmen, weil ein Großteil des Wissens von Unternehmen in Daten abgelegt ist. Zudem wachsen die Mengen gespeicherter Daten ständig, und eine Verarbeitung dieser riesigen Datenmengen erfordert Kenntnisse, die über SQL und traditionelle Datenbanken hinausgehen. Beispiele für diese riesigen Datenmengen sind Genomdatenbanken, Textdokumentsammlungen, Sensordaten, Satellitendaten, Daten aus Kameras, Mikrofonen, oder RFID-Tags, Telekommunikationsdaten, Wetterdaten, Finanzdaten, Newsreader, Daten aus Messenger-Diensten, etc.. Anwendungen oder Informationssysteme zu entwickeln, die bei diesen Datenmengen akzeptable Antwortzeiten haben, erfordert Kenntnisse über Nicht-Standard-Datenmodelle, Hauptspeicher-Datenbanken, Kompression, Indizierung riesiger Datenbestände und effiziente Suche auf diesen Datenbeständen. Dieses Modul behandelt schwerpunktmäßig Algorithmen zur Kompression und zur effizienten Verarbeitung von komplexen, strukturierten Massendaten einschließlich Textdaten, Genomdaten, baumstrukturierter Daten und Graph-Daten. Zu den Inhalten gehört: • Überblick über Suchmaschinen und Informationssysteme • Hauptspeicherdatenbanken und Succinct-Codierungstechniken • String-Kompressionsalgorithmen • Genom-Datenbanken • Verarbeitung riesiger Baum-Datenbestände (XML und JSON) und Baum-Kompression • Graph-Datenbanken und Graph-Kompression • Suchalgorithmen für Big Data und für Datenströme *Contents of the course Databases and Information Systems:* Data storage and data management play a central role in enterprises since a large part of the companies' knowledge is stored as data. Furthermore, data collections are rapidly growing, and an efficient processing of these big data collections requires know how beyond that of SQL and traditional database systems. Examples for these big data collections are genome databases, text document collections, sensor data, satellite data, data from cameras, microphones, and RFID tags, telecommunication data, weather data, finance data, news readers, data from messengers, etc.. To develop applications or information systems that lead to acceptable response times on these big data collections requires knowledge about non-standard data models, main-memory databases, compression, indexing of big data, and efficient search in these data collections. This module focusses on algorithms for compression and for efficient processing of complex structured massive data, including text data, genome data, tree structured data, and graph data. The content of this module covers: • Overview of search engines and information systems • Main memory databases and succinct encoding techniques • String compression algorithms • Genome databases • Processing of huge tree data collections (XML and JSON) and tree compression • Graph databases and graph compression • Search Algorithms for Big Data and for data streams

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, XML-Verarbeitung in Softwaresystemen zu verstehen, zu entwerfen, zu implementieren und in Bezug auf ihren Zeit- und Platz-Bedarf zu beurteilen. Sie kennen wesentliche Such- und Anfragetechniken zur Informationsbeschaffung in unkomprimierten oder komprimierten XML-Datenbeständen. Sie sind in der Lage, unendliche Datenströme geeignet zu verarbeiten. Die Studenten sind in der Lage, sich neueste Forschungsergebnisse anhand von wissenschaftlichen Papers zu erarbeiten.
Nichtkognitive Kompetenzen:

- Gruppenarbeit
- Lernkompetenz
- Lernmotivation

After completing the module students can comprehend, design, implement and assess (with respect to time and space complexity) XML processing in software systems. They known pivotal search and query techniques to acquire information in uncompressed and compressed XML data. They can appropriately process infinite data streams. They can acquire new research results from scientific publications.
Non-cognitive Skills:

- Team work
- Learning competence
- Learning motivation

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

<table>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
<table>
<tr><th>zu</th><th>Form</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Schriftliche Übungsaufgaben</td><td></td><td>SL</td></tr>
</table>
Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of achievement</th><th>Duration or Scope</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Written exercises</td><td></td><td>CA</td></tr>
</table>
Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Bestehen der Studienleistung
Passing of course achievement</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet.
The module is weighted as 6 credits.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr. Stefan Böttcher</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Databases and Information Systems:* **Methodische Umsetzung** Grundlegende Konzepte werden in einer Vorlesung präsentiert. Zusätzlich werden theoretische Konzepte in Tutorien in Kleingruppen vertieft, insbesondere für Kernkonzepte von Datenbanken wie die Suche in und Anfragen auf Big Data, verteilten Datenbanken und mobilem Datenmanagement. Zudem erwerben Studierende praktische Kenntnisse durch Computer-gestützte Übungen, in denen sie aufbauend auf den in der Vorlesung erläuterten Konzepten ihre eigenen Informatonssysteme, Such- oder Kompressionsalgrithmen entwickeln. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Verweise auf aktuelles Lernmaterial werden in der Vorlesung gegeben. *Remarks of course Databases and Information Systems:* **Implementation method** The fundamental concepts are presented in a lecture. Additioanlly, theoretical concepts are deepened in small groups during class-based tutorials. This method is used in particular for core concepts of databases (searching in and querying Big Data, distributed databases, and mobile data and manangement). Additionally, practical skills are acquired through computer-based exercises, where the students have to develop their own information systems, search or compression algorthms, based on the introduction given in the lecture. **Learning Material, Literature** Links to material will be provided during the lecture.

Introduction to Quantum Computation			
Introduction to Quantum Computation			
Modulnummer / Module number: M.079.01279	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05807 Introduction to Quantum Computation	V3 Ü2	75	105	P	40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05807 Introduction to Quantum Computation	L3 Ex2	75	105	C	40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Algorithmen

Prerequisites of course Introduction to Quantum Computation:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:* In dieser Vorlesung werden die Grundlagen von Quanteninformatik und Quanteninformation vorgestellt. Das umfasst eine Einführung in Quantenmechanik, Quantenverschränkung, Quantenalgorithmen, Quantenfehlerkorrektur und Quanteninformation. • Quantenmechanik • Quantenverschränkung • Quantenalgorithmen • Quantenfehlerkorrektur • Quanteninformation *Contents of the course Introduction to Quantum Computation:* This lecture introduces the fundamental concepts of quantum computation and information from a computer science perspective. This includes an introduction to quantum mechanics, quantum entanglement, quantum algorithms, quantum error correction, and quantum information theory. • Quantum mechanics • Quantum entanglement • Quantum algorithms • Quantum error correction • Quantum information
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Studierende können: • die Postulate von Quantenmechanik beschreiben und benutzen, • die Benutzung von Quantenverschränkung als eine Quelle verstehen, • grundlegenden Quantenalgorithmen entwickeln und analysieren • Quantenfehlerkorrektur benutzen, • grundlegender Quanteninformationskonzepten, wie Entropie, verstehen und benutzen, **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Selbststeuerungskompetenz Students are able to: • Describe and apply the postulates of quantum mechanics • Understand the use of entanglement as a resource • Design and analyze fundamental quantum algorithms • Apply the theory of error-correcting codes • Understand and apply basic quantum information theory concepts such as entropy **Non-cognitive Skills** • Learning competence • Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sevag Gharibian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Introduction to Quantum Computation:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Lecture slides, exercises

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Reconfigurable Computing			
Reconfigurable Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.01270	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	V2 Ü3	75	105	WP	50/20

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	L2 Ex3	75	105	CE	50/20

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

Prerequisites of course Reconfigurable Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of “Digital Design” and “Computer Architecture” is beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* Die Veranstaltung vermittelt Kenntnisse in Architekturen und Entwurfsmethoden für rekonfigurierbare Hardware und stellt Anwendungen im Bereich des Hochleistungsrechnens und der eingebetteten Systeme vor. • Einführung: Evolution von programmierbaren Hardwarebausteinen, Marktentwicklung • Architekturen: FPGA Architekturen, rekonfigurierbare Bausteine und Systeme • Entwurfsmethoden: CAD für FPGAs, Hochsprachen und Compiler, Entwurf auf Systemebene • Anwendungen, insbesondere custom computing machines, eingebettete Systeme *Contents of the course Reconfigurable Computing:* This lecture provides an understanding of architectures and design methods for reconfigurable hardware systems and presents applications in the areas of high performance computing and embedded systems. • Introduction: evolution of programmable logic devices, market economics • Architectures: FPGA architectures, reconfigurable devices, reconfigurable systems • Design methods: CAD for FPGAs, high-level languages and compilers, system-level design • Applications: custom computing machines, embedded systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • den Aufbau rekonfigurierbarer Hardwarebausteine zu erklären, • die wesentliches Entwurfsmethoden zu benennen und zu analysieren und • die Eignung rekonfigurierbarer Hardware für verschiedene Einsatzgebiete zu beurteilen. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Lernkompetenz After attending the course, the students are able to • explain the architectures of reconfigurable hardware devices, • name and analyze the main design methods and • judge the suitability of reconfigurable hardware for different application domains. **Non-cognitive Skills** • Team work • Learning competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb • Interaktive Übungen im Hörsaal • Rechnerübungen mit rekonfigurierbaren Systemen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Aufgabenblätter und technische Dokumentation für die Rechnerübungen • S. Hauck and A. DeHon (editors): Reconfigurable Computing, Volume 1: The Theory and Practice of FPGA-Based Computation, Morgan Kaufmann, 2008 • Aktuelle Hinweise auf alternative und ergänzende Literatur, sowie Lehrmaterialien auf der Webseite und in den Vorlesungsfolien *Remarks of course Reconfigurable Computing:* **Implementation method** • Lecture with projector and board • Interactive exercises in the lecture room • Computer-based exercises with reconfigurable systems **Learning Material, Literature** • Lecture slides and exercise sheets • Exercise sheets and technical documentation for the for the computer-based exercises • S. Hauck and A. DeHon (editors): Reconfigurable Computing, Volume 1: The Theory and Practice of FPGA-Based Computation, Morgan Kaufmann, 2008 • Information about alternative and additional literature as well as teaching material on the course's website and in the lecture slides

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Modulnummer / Module number: M.048.23023	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
Keine

None

Prerequisites of course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* Die Lehrveranstaltung vermittelt Methoden und Architekturen für die ressourceneffiziente Ausführung moderner KI-Anwendungen unter Berücksichtigung von Leistungs-, Energie- und Speicherrestriktionen. Behandelte Themen umfassen: • Grundlagen des Deep Learning und Trainingsverfahren • Charakteristika moderner KI-Workloads (z. B. CNNs und Transformer) • Rechen-, Speicher- und Energieengpässe bei der KI-Inferenz • Methoden zur effizienten Modellgestaltung und -optimierung: – Quantisierung – Pruning und Sparsity – Knowledge Distillation – Effiziente neuronale Netze (z. B. MobileNet) • Abbildung von KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen • Architekturen für KI-Beschleunigung: – SIMD- und Vektorarchitekturen – GPU-Architekturen – Dataflow-Architekturen und systolische Arrays – NPUs und domänenspezifische Beschleuniger • Hardware-Software-Co-Design für effiziente KI-Systeme *Contents of the course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* The course introduces methods and architectures for resource-efficient execution of modern artificial intelligence applications under performance, energy, and memory constraints. Topics include: • Fundamentals of deep learning and training methodologies • Characteristics of modern AI workloads (e.g., CNNs and transformers) • Computational, memory, and energy bottlenecks during AI inference • Techniques for efficient model design and optimization: – Quantization – Pruning and sparsity – Knowledge distillation – Efficient neural network architectures (e.g., MobileNet) • Mapping AI workloads onto hardware platforms • Architectures for AI acceleration: – SIMD and vector architectures – GPU architectures – Dataflow architectures and systolic arrays – Neural Processing Units (NPUs) and domain-specific accelerators • Hardware-software co-design for efficient AI systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- grundlegende Prinzipien des Deep Learning aus einer Systemperspektive einzuordnen,
- KI-Workloads hinsichtlich ihrer Rechen-, Speicher- und Kommunikationsanforderungen zu analysieren,
- Performance-, Energie- und Speicherengpässe zu identifizieren,
- Methoden zur Modelloptimierung gezielt anzuwenden,
- KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen abzubilden und zu bewerten,
- verschiedene Architekturen für KI-Beschleunigung zu vergleichen,
- Trade-offs zwischen Genauigkeit, Latenz, Durchsatz und Energieeffizienz zu analysieren,
- Hardware-Software-Co-Design-Methoden für ressourceneffiziente KI-Systeme anzuwenden.

After successful completion of the module, students are able to:

- explain fundamental principles of deep learning from a systems perspective,
- analyze AI workloads with respect to computational, memory, and communication requirements,
- identify performance, energy, and memory bottlenecks,
- apply model optimization techniques to improve efficiency,
- map AI workloads onto different hardware platforms and evaluate their suitability,
- compare different architectures for AI acceleration,
- analyze trade-offs between accuracy, latency, throughput, and energy efficiency,
- apply hardware-software co-design methodologies for resource-efficient AI systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Lennart Bamberg
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** PANDA (mehr Informationen werden in der ersten Vorlesung gegeben) **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** PANDA (more information will be provided in the first lecture) **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Usable Security and Privacy			
Usable Security and Privacy			
Modulnummer / Module number: M.079.01285	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05804 Usable Security and Privacy	V2 Ü3	75	105	WP	40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05804 Usable Security and Privacy	L2 Ex3	75	105	CE	40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

keine

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Usable Security and Privacy:* Menschliche Faktoren und Aspekte über die Benutzerfreundlichkeit nehmen in der IT-Sicherheit und in der Entwicklung sicherer Systeme traditionell eine geringe Rolle ein. Thematiken der Benutzerfreundlichkeit werden von Sicherheitsexperten weitgehend vernachlässigt, weil ihre Bedeutsamkeit nicht ausreichend geschätzt wird und diese nicht über ausreichende Kenntnisse verfügen, um sie anzugehen. Heute besteht ein Konsens darüber, wie wichtig es ist, das Verhalten der Benutzer zu verstehen und die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, um robuste IT-Sicherheit zu erreichen. Dieser Kurs vermittelt praktisches und forschungsorientiertes Wissen über nutzbare Sicherheit und Privatsphäre. Die Studierenden sammeln praktische Erfahrungen durch Präsenzübungen und arbeiten in kleinen Teams an einem semesterweiten Forschungsprojekt mit dem Ziel, eine Nutzerstudie zu menschenzentrierter Sicherheit und Privatsphäre zu entwerfen und durchzuführen. Dazu werden im Kurs Forschungsmethoden vorgestellt und eine Einführung in HCI- und Usability-Konzepte gegeben. Der Kurs wird sich auch mit grundlegenden und aktuellen Forschungsthemen in diesem Bereich befassen, wie z.B. Tools zur Verbesserung der Privatsphäre und Transparenz, benutzerfreundliche Authentifizierung und entwicklerzentrierte IT-Sicherheit. Durch die Sichtung relevanter Paper und das Halten von Präsentationen werden die Studierenden mit dem neuesten Stand der Forschung auf diesem Gebiet vertraut gemacht und lernen, wie man wissenschaftlich arbeitet. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Konzepte für Sicherheit und Datenschutz/Privatsphäre • Grundlagen der Kryptographie • Technologien zur Verbesserung der Privatsphäre und der Transparenz • HCI- und Usability-Forschungsmethoden • Ethik in der Technik • Quantitative und qualitative Datenanalyse • Nutzbare Authentifizierung • Nutzbare Privatsphäre • Entwickler-zentrierte Sicherheit

	Contents of the course Usable Security and Privacy: Human factors and usability issues have traditionally played a limited role in security research and secure systems development. Usability issues have been largely disregarded by security experts due to their failure to acknowledge their significance and their insufficient knowledge to tackle them. Today there is consensus on the importance of understanding users behavior and improving usability to achieve true security. This course provides practical and research-oriented knowledge about usable security and privacy. Students will gain practical experience through focused presence exercises and work in small teams to conduct a semester-wide research project with the goal of designing and pretesting a user study on human-centered security and privacy. For that, the course will present research methods and give an introduction into HCI and usability concepts. The course will also address foundational and state-of-the-art research topics in the area, such as privacy and transparency enhancing tools, usable authentication, and developer-centered security. By reviewing relevant papers and giving presentations, the students will get familiar with the latest research in the field and gain knowledge about how to work scientifically. The course includes the following contents: • Security and privacy concepts • Foundations of cryptography • Privacy and transparency enhacing tools • HCI and usability research methods • Ethics in technology • Quantitative and qualitative data analysis • Usable authentication • Usable privacy • Developer-centered security
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Teilnehmer der Veranstaltung • entwickeln ein Verständnis für die Bedeutung der Sicherheit und des Schutzes der Privatsphäre • lernen die Geschichte des Fachgebiets und die wichtigsten Forschungsbereiche und Herausforderungen kennen • sind in der Lage, Methoden zur Durchführung von Nutzerforschung im Bereich Sicherheit und Datenschutz anzuwenden **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) • Selbststeuerungskompetenz

Participants of the course

- gain an appreciation for the importance of usable security and privacy
- learn about the history of the field and main research areas and challenges
- are able to apply methodologies to conduct user research in security and privacy

Non-cognitive Skills

- Literacy (scientific)
- Self-monitoring
- Team work

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 min bzw. 40 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 min or 40 min	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Praktische Arbeiten mit schriftlichem Bericht und Diskussion		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Practical work with written report and discussion		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Patricia Arias Cabarcos
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Usable Security and Privacy:* **Methodische Umsetzung** Grundlegende Konzepte werden in Form einer Vorlesung präsentiert. Durch die Teilnahme an Präsenzübungen und die Durchführung eines Forschungsprojekts in kleinen Gruppen, das sich auf eine Nutzerstudie für die Forschung im Bereich Sicherheit und Privatsphäre konzentriert, können die Studierenden im Laufe des Semesters vertiefte theoretische und praktische Kenntnisse erwerben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Lazar, J., Feng, J.H. and Hochheiser, H., 2017. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann. • Redmiles, E.M., Acar, Y., Fahl, S. and Mazurek, M.L., 2017. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. • Folien und Verweise auf wissenschaftliche Literatur werden während der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Usable Security and Privacy:
Implementation method
Basic concepts are presented in a lecture style format. By engaging in presence exercises and conducting a research project in small groups focused on a user-study for usable security and privacy research throughout the semester, students can acquire more profound theoretical and practical knowledge.
Learning Material, Literature

- Lazar, J., Feng, J.H. and Hochheiser, H., 2017. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann.
- Redmiles, E.M., Acar, Y., Fahl, S. and Mazurek, M.L., 2017. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers.
- Slides and scientific literature references will be given during the course.

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

3.3 Vertiefungsgebiet “Control and Automation”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Control and Automation / Control and Automation
Module / Modules	* Advanced System Theory * Advanced Topics in Robotics * Gekoppelte Felder * Geregelte Drehstromantriebe * Geregelte Netzumrichter / Control of Grid-Tied Converters * Machine Learning I * Nonlinear control of autonomous and robotic systems * Optimization-Based Control Methods * Robotics * Ultraschallmesstechnik
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich der Regelungs- und Automatisierungstechnik.

Advanced System Theory			
Advanced System Theory			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92001	180	6	Sommer- / Wintersemester
	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	1. Semester	1	de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	60/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:
Empfohlen:
Voraussetzung ist ein Grundverständnis von Differentialgleichungen, linearer Algebra und Laplace-Transformationen, wie sie in einem typischen Grundstudium der Systemtheorie behandelt werden.

None

Prerequisites of course Advanced System Theory:
Recommended:
Prerequisites are a basic understanding of differential equations, linear algebra, and Laplace transforms, as they are covered in a typical undergraduate course on system theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Kurzbeschreibung** Aufbauend auf einem Grundkurs in Systemtheorie behandelt dieser Kurs das dynamische Verhalten linearer Systeme mit größerer mathematischer Sorgfalt. Der Kurs ist in erster Linie für Studierende der Ingenieurwissenschaften gedacht, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften nützlich sein. **Inhalte** Systemmodelle und Differentialgleichungen • Zustandsraum- und E/A-Beschreibungen • Beziehungen zwischen internen und externen Beschreibungen • Reaktion von Systemen mit kontinuierlicher und diskreter Zeit • Stabilität, Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit • Zustandsraumrealisierungen von externen Beschreibungen *Contents of the course Advanced System Theory:* **Short Description** Building on an undergraduate system theory course, this course studies the dynamical behavior of linear systems with greater mathematical rigor. The course is primarily intended to serve students in engineering, but it can also be useful to students in physics and other natural sciences. **Contents** • System models and differential equations • State-space and I/O descriptions • Relations between internal and external descriptions • Response of continuous- and discrete-time systems • Stability, controllability, observability • State-space realizations of external descriptions
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch dieser Veranstaltung sind die Studenten mit den wichtigsten Konzepten und Ergebnissen der linearen Systemtheorie vertraut. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Dieser Kurs soll ihnen Intuition und Gespür für das dynamische Verhalten linearer Systeme vermitteln, auf das sie später zurückgreifen können. Dieser Kurs behandelt Material in ausreichender Breite, so dass Studenten ein klares Bild vom dynamischen Verhalten linearer Systeme, einschließlich ihrer Leistungsfähigkeit und Grenzen, bekommen. Dadurch können Studenten die Theorie in anderen Gebieten anwenden. After attending this course, students will be familiar with the most important concepts and results in linear system theory. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. Many of their timeless insights and intuitions about the dynamical behavior of systems will be drawn from this course. This course presents material broad enough so that students will have a clear understanding of the dynamical behavior of linear systems, including their power and limitations. This will allow students to apply the theory to other fields.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Erdal Kayacan

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) Panda-Kurs für Kommunikation und Organisation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungs-/Tutoriumsfragen; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben *Remarks of course Advanced System Theory:* **Course Homepage** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) Panda course for communication and material distribution **Teaching Material, Literature** Handouts and exercise / tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Advanced Topics in Robotics			
Advanced Topics in Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92006	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Advanced Topics in Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung Advanced Topics in Robotics baut auf dem Kurs Robotics auf. Sie führt die teilnehmenden Studierenden an aktuelle Forschungsfragen im Bereich autonomer und teleoperierter mobiler Roboter zur Lösung interdisziplinärer Probleme heran. Die Herausforderungen für die Entwicklung intelligenter mobiler Systeme werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalt** • Architekturen für Robotersysteme • Middleware für Hardwareabstraktion • Gerätetreiber und Bibliotheken • Visualisierung • lokale Navigationsverfahren (Kollisionsvermeidung) • globale Navigationsverfahren (Wegfindung) • Methoden zur Navigation und Selbstlokalisation (SLAM) • Grundlagen der Handlungsplanung • Ausblick zu Multi-Agenten-Systemen *Contents of the course Advanced Topics in Robotics:* **Short Description** The course Advanced Topics in Robotics is based on the course Robotics. The students are introduced to current research topics in the field of autonomous and teleoperated mobile robots to solve interdisciplinary issues. The challenges encountered in developing intelligent mobile systems are analyzed and current solutions presented. **Contents** • Architectures of robot systems • Middleware for hardware abstraction • Device drivers and libraries • Visualization • Local navigation processes (collision avoidance) • Global navigation processes (pathfinding) • Navigation and self-localization methods (SLAM) • Fundamentals of task planning
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden • können die grundlegenden Architekturen für mobile Roboter benennen und ihre Eigenschaften analysieren, • beherrschen die grundlegenden Methoden für die Navigation und Regelung von mobilen Robotern und • können diese selbstständig implementieren, testen und anwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen** Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in C.

Domain competence:
The students

- are able to name and analyze the basic robot architectures for mobile robots,
- have a good command of the methods for the navigation and control of mobile robots and
- are able to implement, test and apply them.

Key qualifications:
The students have a good command of programming in the C language

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir` **Methodische Umsetzung** • Die theoretischen und methodischen Grundlagen werden zunächst im Rahmen einer Vorlesung eingeführt. • Eine Einübung der präsentierten Methoden erfolgt danach im Übungsteil. • Abschließend werden einfache Algorithmen von den TeilnehmerInnen implementiert, getestet und angewendet. • Im Praktikumsteil werden die notwendigen Programmierkenntnisse vermittelt, er ist aber ausdrücklich nicht als Programmierkurs gedacht. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden noch bekannt gegeben. • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Remarks of course Advanced Topics in Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir`
Implementation

- The theoretical and methodical fundamentals will be introduced during the lecture.
- The methods presented will be practiced during the subsequent exercise / lab part.
- Finally, the participants will implement, test, and apply simple algorithms.
- The necessary programming skills will be taught during the practical, this is explicitly not considered a programming course.

Teaching Material, Literature
Allocation of lecture notes; information on textbooks stocked in the textbook collection will be announced later.

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Gekoppelte Felder			
Coupled Fields			
Modulnummer / Module number: M.048.27028	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27028 Gekoppelte Felder	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27028 Coupled Fields	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:
Empfohlen: Grundkenntnisse aus dem Bereich der klassischen Feldtheorie, zum Beispiel aus den Modulen “Feldtheorie”, “Elektromagnetische Wellen” und “Theoretische Elektrotechnik”.

None

Prerequisites of course Gekoppelte Felder:
Recommended: Basic knowledge from the area of classical field theory, for example from the modules “Field Theory”, “Electromagnetic Waves” and “Theoretical Electrical Engineering”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:* Fokus der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder ist die klassische feldtheoretische Betrachtung interagierender elektromagnetischer, thermischer und mechanischer Phänomene sowie deren Anwendung in der Sensorik und Aktorik. Nach einer Einführung in die mathematische Beschreibung der einzelnen Feldgrößen werden folgende Themen behandelt: • Elektromechanische Kopplung an den Beispielen des piezoelektrischen Effekts, der Elektrostriktion und der Magnetostriktion. • Thermomechanische Kopplung am Beispiel der Thermoelastizität sowie bei der Beschreibung verlustbehafteter akustischer Wellen. • Thermoelektrische Kopplung am Beispiel der Pyroelektrizität. • Phänomene mit elektromagnetisch-thermisch-mechanischer Kopplung wie der photoakustische Effekt. Neben der Beschreibung der Effekte wird auf Analogien, Gemeinsamkeiten und Unterschiede eingegangen sowie Aspekte der numerischen Simulation besprochen. *Contents of the course Gekoppelte Felder:* The focus of the course Coupled Fields is the classical field theory of interacting electromagnetic, thermal and mechanical phenomena as well as their application in sensors and actuators. After an introduction to the mathematical description of the individual fields, the following topics are covered: • Electromechanical coupling based on examples in piezoelectricity, electrostriction and magnetostriction. • Thermomechanical coupling such as thermoelasticity and lossy acoustic waves. • Thermoelectric coupling, for example pyroelectricity. • Phenomena with electromagnetic-thermal-mechanical coupling such as the photoacoustic effect. In addition to the description of the effects, analogies as well as similarities and differences are considered and aspects of numerical simulation are discussed.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch der Lehrveranstaltung sind die Studenten in der Lage, • die Wirkungsweise der besprochenen physikalischen Effekte phänomenologisch und auf Differentialgleichungsebene zu beschreiben. • Ergebnisse numerischer Simulationen verkoppelter Felder zu interpretieren und auf Plausibilität zu Prüfen. • für sensorische und aktorische Anwendungen verkoppelter Felder geeignete Komponenten auszuwählen. • aus Beobachtungen Rückschlüsse auf den zugrundeliegenden physikalischen Effekt zu ziehen. After attending the course, students will be able to • describe the discussed physical effects phenomenologically and with differential equations. • interpret the results of numerical simulations of coupled fields and check them for plausibility. • select suitable components for sensor and actuator applications of coupled fields. • infer an acting physical effect from observations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the examination will be conducted.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Leander Claes
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien sowie Übungsaufgaben werden bereitgestellt. Auf ergänzende Fachliteratur wird im Verlauf der Veranstaltung hingewiesen. **Module Homepage** `https://emt.upb.de` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture slides and exercises will be provided. Additional literature references will be given throughout the course.

Regelung elektrischer Antriebe			
Control of Electric Drives			
Modulnummer / Module number: M.048.27013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.27013 Regelung elektrischer Antriebe	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27013 Control of Electric Drives	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:
Empfohlen:

- Grundlagen Regelungstechnik
- Grundlagen elektrische Maschinen
- Grundlagen Leistungselektronik

	None *Prerequisites of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Recommended:** • basics of control theory • basics of electrical machines • basics of power electronics
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung vermittelt die Regelung von elektrischen Maschinen (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Asynchronmaschinen). Die vermittelten Inhalte werden in Simulationen im Rahmen der Übungen überprüft. **Inhalt** • Maschinenmodelle (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) • Koordinatentransformationen • Feldorientierte Regelung für die untersuchten Maschinen • Beobachter • Fortgeschrittene Regelungsansätze (direct torque control, modellprädiktive Regelung) *Contents of the course Regelung elektrischer Antriebe:* **Short Description** The course teaches the closed-loop control for electrical machines (DC machines, synchronous machines, and induction machines). The presented content is tested in simulations within the exercises. **Contents** • machine models (dc machines, synchronous machines, and induction machines) • coordinate transformations • field-oriented control for particular machines • observers • advanced control techniques (direct torque control, model-predictive control)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise elektrischer Antriebe (basierend auf Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) zu erklären • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufzubauen • ein geeignetes Steuerungssystem für die jeweiligen elektrischen Maschinen zu entwerfen und als Simulationsmodell zu implementieren

After successfully completing the module, students will be able to

- explain the functionality of electric drives (based on dc machines, synchronous machines, and induction machines)
- set up a simulation model for the target application
- design a suitable control system for the particular electric machines and implement it as a simulation model

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Methodische Umsetzung** Teile der Veranstaltung werden als Simulationsübung durchgeführt. **Material** Vorlesungsfolien. *Remarks of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Implementation** Parts of the course are organized as computer-based simulation exercises. **Teaching Material** Lecture slides.

Geregelte Netzumrichter			
Control of Grid-Tied Converters			
Modulnummer / Module number: M.048.22021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.22021 Geregelte Netzumrichter	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22021 Control of Grid-Tied Converters	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:
Empfohlen:

- Grundlagen der Leistungselektronik (empfohlen)
- Grundlagen der Regelungstechnik (empfohlen)

	None *Prerequisites of course Geregelte Netzumrichter:* **Recommended:** • Basics of Power Electronics (recommended) • Basics of Control Theory (recommended)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:* Ziel dieses Moduls ist es, anwendungsorientierte Kenntnisse für den Betrieb von netzgekoppelten Umrichtern zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Funktionsprinzipien, Anforderungen sowie auf der Umrichterregelung. • Netzanschlussbedingungen und weitere Anforderungen • dreiphasige und einphasige Spannungszwischenkreis-Umrichtertopologien für den Netzbetrieb • Modellierung der Umrichterkomponenten für Simulationszwecke • Spannungs- und Stromtransformationen, die bei der Regelung verwendet werden • die Regelungsalgorithmen für diese Topologien • verschiedene PLLs und ihre Eigenschaften *Contents of the course Geregelte Netzumrichter:* The goal of this module is to develop application-oriented skills regarding the operation of grid-tied converters. The focus is on the operational principles, requirements, and control. • grid codes and other requirements • three-phase and single-phase voltage converter topologies for grid operation • modeling the inverter components for simulation purposes • voltage and current transformations utilized for control • the control algorithms for these topologies • different PLLs and their properties
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise netzgebundener Umrichter erläutern • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufbauen • eine passende Regelung für den Netzbetrieb des einphasigen sowie des dreiphasigen Umrichters entwerfen und als Simulationsmodell implementieren • wesentliche Netzanforderungen erläutern After successfully completing the module, students will be able to • explain the functionality of grid-tied converters • set up a simulation model for the target application • design a suitable control system for the grid operation of the single-phase and three-phase inverters and implement it as a simulation model • explain essential grid code requirements

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Nonlinear control of autonomous and robotic systems			
Nonlinear control of autonomous and robotic systems			
Modulnummer / Module number: M.048.27032	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

None

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:
Empfohlen:
Vorausgesetzt wird ein grundlegendes Verständnis der linearen Algebra, der linearen Systemtheorie und der Regelungstechnik, wie es typischerweise in einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik vermittelt wird.

	None *Prerequisites of course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* **Recommended:** Prerequisites are a basic understanding of linear algebra, linear system theory, and control theory as they are covered in a typical undergraduate course on control theory.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Aufbauend auf einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik führt dieser Kurs in die Analyse und Regelung nichtlinearer dynamischer Systeme ein. Der Schwerpunkt liegt auf grundlegenden Konzepten und Methoden der nichtlinearen Regelungstechnik, mit besonderem Fokus auf deren Anwendung in autonomen Systemen und der Robotik. Der Kurs richtet sich in erster Linie an Studierende der Ingenieurwissenschaften, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften von Nutzen sein. Inhalte • Modellierung nichtlinearer Systeme und Zustandsraumdarstellungen • Phasenebenenanalyse und Systemverhalten nichtlinearer Systeme • Ruhelagen (Gleichgewichtspunkte) und lokale Stabilitätsanalyse • Ljapunow-Stabilitätstheorie (Lyapunov-Stabilität) • Exakte Linearisierung (Feedback-Linearisierung) und nichtlinearer Reglerentwurf • Anwendungen der nichtlinearen Regelung in autonomen und robotischen Systemen *Contents of the course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Building on an undergraduate control theory course, this course introduces the analysis and control of nonlinear dynamical systems. The course focuses on fundamental nonlinear control concepts and methods, with particular emphasis on their application to autonomous and robotic systems. It is primarily intended for engineering students but may also be useful to students in physics and other natural sciences. Contents • Nonlinear system modeling and state-space representations • Phase-plane analysis and nonlinear system behavior • Equilibrium points and local stability analysis • Lyapunov stability theory • Feedback linearization and nonlinear controller design • Nonlinear control applications in autonomous and robotic systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Modulseite
`http://sst.upb.de/teaching`
Methodische Umsetzung
Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner)
Lernmaterialien, Literaturangaben
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Module Homepage
`http://sst.upb.de/teaching`
Implementation
Lectures and exercises (including some computer simulations)
Teaching Material, Literature
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind. The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Erdal Kayacan
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `http://sst.upb.de/teaching` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** `http://sst.upb.de/teaching` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optimization-Based Control Methods			
Optimization-Based Control Methods			
Modulnummer / Module number: M.048.27031	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:
Keine

None

Prerequisites of course Optimization-Based Control Methods:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:* Der Kurs beginnt mit dem Bellmanschen Optimalitätsprinzip und führt in die Grundlagen der Dynamischen Programmierung (DP) zur Lösung von Optimierungsproblemen mit endlichen und unendlichen Zeithorizonten ein. Auf der Grundlage dieses Rahmens werden die Studierenden optimale Steuerungsprobleme mit endlichen und unendlichen Horizonten untersuchen und lernen, wie man DP auf reale Steuerungsprobleme anwendet. Ein bedeutender Teil des Kurses ist dann linearen quadratischen Reglern (LQR) und linearen quadratischen Schätzern (LQE) gewidmet, wobei der Schwerpunkt auf dem Entwurf von Reglern mit optimaler Zustandsrückführung für lineare Systeme liegt. Das LQG kombiniert dann LQR und LQE zu einem robusten Framework für Gaußsches Zustands- und Messrauschen. Zur Behandlung von Optimierungsproblemen mit Zustands- und Eingabebeschränkungen werden die Studierenden in die quadratische Programmierung (QP) und die Grundlagen der konvexen Optimierung eingeführt. Diese Methoden sind für reale Regelungsprobleme mit Beschränkungen für Systemeingang und -zustände unerlässlich. Ein Abschnitt über Modell Prädiktive Regelung (MPC) konzentriert sich dann auf den Entwurf optimaler Regelungsstrategien für beschränkte lineare Systeme, indem eine Reihe von Optimierungsproblemen in Echtzeit gelöst werden. Der Kurs befasst sich anschließend mit der approximativen dynamischen Programmierung (ADP) und ihrer Verbindung zu MPC, wobei Methoden zur Annäherung an optimale Lösungen für rechnerisch schwer lösbare Probleme unter Verwendung traditioneller DP-Techniken untersucht werden. Schließlich werden die Studierenden moderne Methoden für den Entwurf von Convex Optimization Control Policies anwenden und lernen, effiziente und skalierbare Regelungslösungen unter Verwendung von Konvexität und Optimierungsproblemen zu erstellen. Wenn es die Zeit erlaubt, wird der Kurs mit einer kurzen Einführung in Proximal Policy Optimization Methoden abgeschlossen. *Contents of the course Optimization-Based Control Methods:* The course begins with Bellman's Principle of Optimality and introduces the foundations of Dynamic Programming (DP) techniques for solving optimization problems in finite and infinite time horizons. Based on this framework, students will study Finite and Infinite Horizon Optimal Control Problems, learning how to apply DP to real-world control problems over different time scales. A significant portion of the course is then devoted to linear quadratic regulator (LQR) and linear quadratic estimator (LQE) problems, focusing on designing Optimal State Feedback controllers and estimators for linear systems. The linear quadratic Gaussian (LQG) framework then combines LQR and LQE into a robust framework for Gaussian state and measurement noise. To address optimization problems with state and input constraints, students will be introduced to Quadratic Programming (QP) and the fundamentals of Convex Optimization, which are essential for handling real-world control applications that impose limits on system inputs and states. A section on Model Predictive Control (MPC) will then focus on designing optimal control strategies for constrained linear systems by solving a series of optimization problems in real-time, offering a bridge between theory and industrial applications. The course then covers Approximate Dynamic Programming (ADP) and its connection to MPC, exploring methods to approximate optimal solutions for computationally intractable problems using traditional DP techniques. Lastly, students will use modern methods for designing Convex Optimization Control Policies, learning to create efficient and scalable control solutions using convexity and optimization frameworks. Finally, if time permits, the course will close with a short introduction to Proximal Policy Optimization methods.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat</td><td>120-180 min oder 30-45 min oder 30 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Written or Oral Examination or Presentation</td><td>120-180 min or 30-45 min or 30 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5)</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Dr. Adrian Redder</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** http://sst.upb.de/teaching **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** http://sst.upb.de/teaching **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Robotics			
Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "Robotics" ist ein Basismodul im Katalog "Kognitive Systeme" des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es ist der erste von zwei Kursen, die die relevanten Konzepte und Techniken auf dem Gebiet der Robotermanipulatoren und mobilen Roboter abdecken. Dieser Kurs konzentriert sich auf die Modellierung und Steuerung von Roboterarmen, während sein Folgekurs im Wintersemester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) sich auf mobile Roboter konzentriert. Die Herausforderungen für die Entwicklung von autonomen intelligenten Systemen werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalte** • Sensoren, Effektoren, Aktoren • Homogene Koordinaten, allgemeine Transformationen, Denavit-Hartenberg-Parameter • Kinematik und Dynamik von Roboterarmen und mobilen Robotern Nach der Vorstellung der Methoden in der Vorlesung werden die Studierenden diese mit Matlab und Octave implementieren. *Contents of the course Robotics:* **Short Description** The course "Robotics" is a fundamental module in the catalog "Cognitive Systems" of the Electrical Engineering Master's program and related degree programs. It is the first of two courses that cover the relevant concepts and techniques in the field of robot manipulators and mobile robots. This course concentrates on modeling and controlling robot arms, while its successor in the winter semester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) focuses on mobile robots. The challenges for the development of autonomous intelligent systems will be analyzed and the current solutions will be presented. **Contents** • Sensors, effectors, actuators • Homogenous coordinates, general transformations, Denavit-Hartenberg parameters • Kinematics and dynamics of robot arms and mobile robots After the presentation of methods in the lecture, the students will use Matlab and Octave to implement them.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden • können grundlegende Methoden aus der Steuerungs- und Systemtheorie auf die Robotik übertragen und • sind in der Lage, geeignete Methoden zur Modellierung sowie zur Planung und Steuerung der Bewegungen von Roboterarmen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind in der Lage, die Funktion und das Verhalten von Robotern und deren Einbindung in das soziale und wirtschaftliche Umfeld zu erkennen und zu bewerten und dabei auch ethische Aspekte zu berücksichtigen.

Domain competence:
The students

- know how to transfer basic methods from control and system theory to robotics and
- are able to apply adequate methods to model as well as plan and control the movements of robot arms.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and behavior of robots and their integration into the social and economic environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Remarks of course Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Ultraschallmesstechnik			
Ultrasonic measurement technology			
Modulnummer / Module number: M.048.27015	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27015 Ultraschallmesstechnik	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27015 Ultrasonic Measurement Technology	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:
Keine

None

Prerequisites of course Ultraschallmesstechnik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik beschäftigt sich mit den Phänomenen der Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Darauf aufbauend werden die wichtigsten akustischen Messprinzipien zur Bestimmung akustischer Stoffkenngrößen, geometrischer und technischer Prozessgrößen sowie deren Anwendung in der Prozess- und Fertigungstechnik beschrieben. Die Anwendung von Schall und Ultraschall für die zerstörungsfreie Werkstoffdiagnostik sowie für die Ultraschall-Tomografie werden detailliert behandelt. **Inhalt** Die Vorlesung Ultraschallmesstechnik behandelt folgende Themen: • Akustische und Schallfeldkenngrößen • Grundlagen der Wellenausbreitung • Ultraschallsensordesign (experimentelle Realisierung) • Methoden zur Messung und Visualisierung von Ultraschallfeldern (Nadel- und Membranhydrophon, Schlierenmessplatz, Laservibrometrie. . .) • Messtechnische Methoden zur akustischen Materialdatenbestimmung (Schallgeschwindigkeit, Schallkennimpedanz. . .) • Anwendung von Ultraschall zur Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (NDT) und Schallemissionsanalyse • Anwendung von Ultraschall und in der Prozessmesstechnik (Abstand, Durchfluss, Füllstand. . .) *Contents of the course Ultraschallmesstechnik:* **Short description** The course Ultrasonic Measurement Technology deals with the phenomena of propagation of mechanical waves in solids, liquids and gases. Based on this the most important acoustic measurement principles for the determination of acoustic material parameters, geometric and technical process parameters as well as their application in process and production engineering are described. The application of sound and ultrasound for non-destructive material diagnostics as well as for ultrasonic tomography are covered in detail. **Contents** The Ultrasonic Metrology lecture covers the following topics: • Acoustic and sound field characteristics. • Fundamentals of wave propagation • Ultrasonic sensor design (experimental realization) • Methods for measurement and visualization of ultrasonic fields (needle and membrane hydrophone, schlieren measuring station, laser vibrometry. . .) • Metrological methods for acoustic material data determination (sound velocity, sound characteristic impedance. . .) • Application of ultrasound for non-destructive testing (NDT) and acoustic emission analysis • Application of ultrasound and in process measurement technology (distance, flow, level. . .)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Ultraschall einzusetzen, um akustische und nicht akustische Größen damit zu bestimmen.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend und bei komplexen Fragestellungen einsetzen,
- können aufgrund einer systematischen Problemanalyse zielgerichtet Lösungen erarbeiten,
- sind aufgrund der methodenorientierten Wissensvermittlung befähigt, sich selbst in tangierende Arbeitsgebiete einzuarbeiten.

Specialized competence:
After attending the course, students will be able to,

- use ultrasound to determine acoustic and non-acoustic quantities.

Cross-disciplinary competencies:
The students

- are able to apply the knowledge and skills across disciplines and to complex problems,
- are able to develop targeted solutions on the basis of systematic problem analysis,
- are able to familiarize themselves with tangential fields of work due to the method-oriented knowledge transfer.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bernd Henning
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Folien-Präsentation umfangreicher Zusammenhänge • Praktische Arbeit in Gruppen mittels Messtechnik im Labor **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden bekannt gegeben.

Remarks of course Ultraschallmesstechnik:
Course Homepage
`http://emt.upb.de`
Methodical implementation

- Lectures with slide presentation of extensive correlations
- Practical work in groups using measurement techniques in the laboratory

Learning materials, references

- Provision of a script; references to textbooks from the textbook collection will be announced.

3.4 Vertiefungsgebiet “Embedded Systems”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Embedded Systems / Embedded Systems
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * Approximate Computing * Hardware/Software Codesign (EIM-I) * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Hardware Security * Machine Learning I * Model-Based Systems Engineering * Reconfigurable Computing * Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Software Quality Assurance * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich eingebetteter Systeme.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number: M.048.92043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Approximate Computing			
Approximate Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.01278	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	V3 Ü2	75	105	P	100/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	L3 Ex2	75	105	C	100/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Modulen Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Approximate Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design and Computer Architecture are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Approximate Computing:* Approximate Computing ist ein aktueller Ansatz, der die Genauigkeit von Berechnungen reduziert und dadurch signifikante Einsparungen im Energieverbrauch, der Rechenzeit oder der Chipfläche erzielt. Dieser forschungsorientierte Kurs führt in das Gebiet des Approximate Computing ein und stellt die wesentlichen Methoden für die Implementierung effizienter Rechnersysteme durch Reduktion der Genauigkeit vor. Der Kurs behandelt Approximationstechniken auf allen Ebenen eines Rechnersystems, von der Anwendungsebene bis hin zur Ebene der Hardwaretechnologie. In den Übungen/Tutorium wird die Effizienz dieser Techniken für verschiedene Anwendungsdomänen, wie zum Beispiel Deep Learning und Digital Signal Processing, untersucht. • Einführung und Motivation für ungenaues Rechnen • Approximation in der Anwendungsebene, z.B. für maschinelles Lernen und digitale Signalverarbeitung • Programmiersprachen/Compiler für Approximate Computing • Approximation in der Mikroarchitektur • Automatisierte Synthese von approximierten Schaltungen • Ungenaue arithmetische Komponenten und Performanceoptimierung durch Reduktion der Genauigkeit • Approximationstechniken in der Technologieebene • Übungen/Tutorial: Approximation von Algorithem des Deep Learning und Digital Signal Processing *Contents of the course Approximate Computing:* Approximate Computing is an emerging paradigm that trades-off computational accuracy for a significant reduction in energy, execution time, or chip area. This research-oriented course introduces to the field of Approximate Computing and its most remarkable aspects, and explains the main methods used to implement efficient computing systems by reducing accuracy. The course discusses approximations at all levels of a computing system, from applications down to hardware technologies. In exercise/tutorial sessions the efficiency of these techniques in various domains are examined, including deep learning and digital signal processing. • Introduction and motivation for approximate computing • Approximation at the application level, e.g., in machine learning and digital signal processing • Programming languages/compilers for approximate computing • Approximate microarchitectures • Automated synthesis of approximate circuits • Inexact arithmetic components and performance optimization via accuracy trade-offs • Approximation techniques at the technology level • Exercises/tutorial: Approximating deep learning and digital signal processing algorithms

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die Approximationstechniken auf den unterschiedlichen Ebenen eines Rechnersystems zu benennen und zu erklären,
- die wesentlichen technischen/wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Approximation von Rechnersystemen zu identifizieren,
- die Einsetzbarkeit der Approximationstechniken für verschiedene Anwendungsdomänen zu beurteilen und
- die Approximationstechniken anzuwenden, um effiziente Hardwarebeschleuniger zu realisieren, insbesondere für Deep Learning und Digital Signal Processing

After attending this course, the students are able

- to name and explain approximation techniques at all levels of a computing system,
- to identify major engineering/research problems when building approximate computing systems,
- to judge the suitability of approximation techniques for different application domains, and
- to apply approximation techniques to realize efficient hardware accelerators, in particular for deep learning and digital signal processing

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Voraussetzung für die Teilnahme an der Prüfungsleistung ist die Studienleistung über die Lehrveranstaltung “Approximate Computing”. Prerequisite for the participation in the examination is the study achievement in the course “Approximate Computing”.
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Methodische Umsetzung

- Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb
- Interaktive Übungen/Diskussionen im Hörsaal
- Rechnerübungen

Lernmaterialien, Literaturangaben

- Vorlesungsfolie und Aufgabenblätter
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Zusätzliche Ressourcen und Links auf aktuelle Publikationen werden in der Vorlesung zur Verfügung gestellt.

Remarks of course Approximate Computing:
Implementation method

- Lecture with projector and black/white board
- Interactive exercises/discussions in the lecture room
- Computer-based tutorials

Learning Material, Literature

- Lecture slides, exercise sheets, and tutorial assignments
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Additional resources and links to current research papers are provided in the lecture.

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Kurzbeschreibung
Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden.
Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig.
Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt.
Inhalt
Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt:

- Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation
- Systemtheoretische Grundlagen
  - Signale und Rauschen
  - Modulation und Demodulation
  - Übertragungsverhalten von Funksystemen
- Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente
- Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier)
- Mischer
- Oszillatoren
- Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Hardware Security			
Hardware Security			
Modulnummer / Module number: M.079.4211	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	V3 Ü2	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	L3 Ex2	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Hardware Security:
Basiskenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Kryptographie

none

Prerequisites of course Hardware Security:
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Hardware Security:* Die gesamte Software, die wir nutzen und auf die wir uns verlassen, wird letztendlich auf tatsächlicher Hardware ausgeführt. Die Interaktionen zwischen der Software und der Hardware, auf der sie ausgeführt wird, werden immer komplexer. Daher kann sich sichere Software als unsicher erweisen, wenn sie auf bestimmter Hardware ausgeführt wird. Angreifer können Implementierungsfehler, Logikfehler oder Seitenkanäle wie Timing oder Cache-Zugriffe ausnutzen, um Anwendungen zu knacken oder Geheimnisse aus kryptographischen Implementierungen zu extrahieren. Diese Vorlesung behandelt verschiedene Themen zur Sicherung und Nutzung sicherer Hardware. Der Kurs umfasst die folgenden Inhalte: • Kurzer Hintergrund in Kryptographie • Sichere Programmierung und Implementierungsfehler • Eingebettete und sichere Hardware • Smartcards, U2F-Token • Timing- und mikroarchitektonische Angriffe • Passive und aktive Seitenkanalangriffe • Abwehrmaßnahmen gegen Seitenkanalangriffe • Trusted Platform Modules, Secure Boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Module *Contents of the course Hardware Security:* All of the software we use and rely on ends up being executed on actual hardware. The interactions between software and hardware it runs on are becoming more and more complex. Thus, secure software may turn out to be insecure when ran on particular hardware. Attackers can utilize implementation bugs, logic bugs, or side-channels like timing or cache access to break applications or extract secrets out of cryptographic implementations. This lecture will cover various topics of securing and using secure hardware. The course includes the following contents: • Brief background in cryptography • Secure programming and implementation bugs • Embedded and secure hardware • Smartcards, U2F tokens • Timing and micro-architectural attacks • Passive and active side-channel attacks • Side-channel attack defences • Trusted Platform Modules, Secure boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Modules
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können: • Häufige Software- und Hardware-Schwachstellen identifizieren, die sichere Systeme gefährden, einschließlich Speicherfehlern und API-Missbrauch. • Die Grundideen hinter Seitenkanal- und Timing-Angriffen erklären. • Allgemeine Ansätze zum Schutz von Implementierungen vor diesen Angriffen identifizieren. • Die Architektur, Bedrohungsmodelle und Sicherheitseigenschaften von vertrauenswürdigen Hardwarekomponenten wie TPMs, TEEs und Smartcards beschreiben.

Students will be able to

- Identify common software and hardware vulnerabilities that undermine secure systems, including memory bugs and API misuse.
- Explain the basic ideas behind side-channel and timing attacks.
- Identify general approaches to protecting implementations against these attacks.
- Describe the architecture, threat models, and security properties of trusted hardware components like TPMs, TEEs, and smartcards.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

	The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Jan Jancar
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Hardware Security:* **Methodische Umsetzung** Die Themen werden durch Vorlesungspräsentationen vermittelt, wobei die Beteiligung der Studierenden und Fragen erwartet werden. Tutorien ergänzen dies um praktische Aufgaben zum Material. Schließlich erfordern Hausaufgaben Einzelarbeit und das Selbststudium von zusätzlichem Material. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungs- und Tutoriumsfolien • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) und die dazugehörigen Notebooks auf hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930) *Remarks of course Hardware Security:* **Implementation Method** The topics are conveyed through lecture presentations with student participation and questions expected. Tutorials add hands-on tasks involving the material. Finally, homework assignments require individual work and self-study of additional material. **Learning Material, Literature** • Lecture and tutorial slides • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) and its associated notebooks at hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930)

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Model-Based Systems Engineering			
Model-Based Systems Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.01277	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05815 Model-Based Systems Engineering	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05815 Model-Based Systems Engineering	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen des Systems Engineerings

Prerequisites of course Model-Based Systems Engineering:
Recommended Proficiencies
Basics of Systems Engineerings

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* Ziel der Vorlesung ist ein umfassendes Verständnis des Model-Based Systems Engineerings (MBSE) und seiner Bestandteile. Den Studierenden werden die wesentlichen Themengebiete des MBSE vermittelt. Hierzu gehören Grundlagen inkl. der Sprachen, Methoden und IT-Werkzeuge, die auch praktisch erprobt werden. Der Nutzen des MBSE (ein Systemverständnis bei allen beteiligten Akteuren, eine Basis für die Kommunikation und Kooperation verschiedener Fachdisziplinen aber auch Funktionsbereiche, . . .) wird den Studierenden vermittelt. Ferner werden wesentliche Analysemethoden für den Test von Systementwürfen behandelt. Im Fokus stehen multidisziplinäre, software-intensive Systeme aus den Branchen Maschinen- und Anlagenbau sowie Automotive. • Grundlagen des MBSE • SysML für multidisziplinäre Systeme • CONSENS • weitere MBSE-Ansätze • Design Patterns • MBSE-Tools • Analysemethoden auf Basis des Systemmodells *Contents of the course Model-Based Systems Engineering:* The goal of the lecture is a comprehensive understanding of Model-Based Systems Engineering (MBSE) and its components. The students are taught the essential topics of MBSE. This includes fundamentals including languages, methods and IT tools, which are also tested in practice. The benefits of MBSE (an understanding of the system by all involved actors, a basis for communication and cooperation between different disciplines but also functional areas, . . .) will be conveyed to the students. Furthermore, essential analysis methods for testing system designs are covered. The focus is on multidisciplinary, software-intensive systems from the mechanical and plant engineering and automotive industries. • Basics of MBSE • SysML for multidisciplinary systems • CONSENS • further MBSE approaches • design patterns • MBSE Tools • analysis methods based on the system model

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Lernergebnisse
Die Studierenden sind in der Lage,

- Modellbasiert zu arbeiten
- Systemdenken anzuwenden
- Systemarchitekturen zu erstellen & Anforderungen abzuleiten

Nichtkognitive Kompetenzen

- Selbststeuerungskompetenz
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)
- Lernkompetenz
- Lernmotivation

Learning Outcomes
Students will be able to,

- Work in a model-based manner
- Apply systems thinking
- Create system architectures & derive requirements.

Non-Cognitive Competencies

- Self-monitoring
- Literacy (scientific)
- Learning competence
- Learning motivation

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* **Methodische Umsetzung** Das Modul besteht aus drei Teilen 1. Vorlesung mit Folien (Lecture): Grundlagen und Konzepte werden in der Vorlesung erklärt und anhand von Beispielen veranschaulicht. 2. Übungen (Tutorial): In der Übung erfolgt ein Wissenstransfer und Anwendung der Konzepte. Die Übungen sind in Eigenarbeit vorzubereiten. 3. Praktikum (Labs): Im Praktikum erfolgt die Anwendung des Gelernten in Gruppenarbeit. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. Morgan Kaufmann, Waltham, 2. Auflage, 2012 • Gausemeier, J.; Rammig, J.; Schäfer, W. (Eds.): Design Methodology for Intelligent Technical Systems. Develop Intelligent Technical Systems of the Future. Springer-Verlag, 2014 • Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University • Haberfellner, R., L., D. W. O., Fricke, E., & Voössnersiegfried. (2019). Systems engineering: fundamentals and applications. Cham: Springer International Publishing • Incose Systemsengineeringhandbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities(2015) • Weilkiens, Tim: Systems Engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design (The MK/OMG Press) (English Edition) • Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.; Gausemeier, J. (Hrsg.): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft, Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering, Paderborn, 2021 – English Version: www.advanced-systems-engineering.de

Remarks of course Model-Based Systems Engineering:
Implementation method
The module consists of three parts 1. lecture with slides: basics and concepts are explained in the lecture and illustrated with examples. 2. exercises (tutorial): In the exercises, knowledge is transferred and the concepts are applied. The exercises have to be prepared by the students themselves. 3. practical course (labs): In the practical course, the application of what has been learned takes place in group work.
Learning Material, Literature

- Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. Morgan Kaufmann, Waltham, 2. Auflage, 2012
- Gausemeier, J.; Rammig, J.; Schäfer, W. (Eds.): Design Methodology for Intelligent Technical Systems. Develop Intelligent Technical Systems of the Future. Springer-Verlag, 2014
- Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University
- Haberfellner, R., L., D. W. O., Fricke, E., & Voössnersiegfried. (2019). Systems engineering: fundamentals and applications. Cham: Springer International Publishing
- Incose Systemsengineeringhandbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities(2015)
- Weilkiens, Tim: Systems Engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design (The MK/OMG Press) (English Edition)
- Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.; Gausemeier, J. (Hrsg.): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft, Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering, Paderborn, 2021 – English Version: www.advanced-systems-engineering.de

Reconfigurable Computing			
Reconfigurable Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.01270	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	V2 Ü3	75	105	WP	50/20

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	L2 Ex3	75	105	CE	50/20

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

Prerequisites of course Reconfigurable Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of “Digital Design” and “Computer Architecture” is beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* Die Veranstaltung vermittelt Kenntnisse in Architekturen und Entwurfsmethoden für rekonfigurierbare Hardware und stellt Anwendungen im Bereich des Hochleistungsrechnens und der eingebetteten Systeme vor. • Einführung: Evolution von programmierbaren Hardwarebausteinen, Marktentwicklung • Architekturen: FPGA Architekturen, rekonfigurierbare Bausteine und Systeme • Entwurfsmethoden: CAD für FPGAs, Hochsprachen und Compiler, Entwurf auf Systemebene • Anwendungen, insbesondere custom computing machines, eingebettete Systeme *Contents of the course Reconfigurable Computing:* This lecture provides an understanding of architectures and design methods for reconfigurable hardware systems and presents applications in the areas of high performance computing and embedded systems. • Introduction: evolution of programmable logic devices, market economics • Architectures: FPGA architectures, reconfigurable devices, reconfigurable systems • Design methods: CAD for FPGAs, high-level languages and compilers, system-level design • Applications: custom computing machines, embedded systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • den Aufbau rekonfigurierbarer Hardwarebausteine zu erklären, • die wesentliches Entwurfsmethoden zu benennen und zu analysieren und • die Eignung rekonfigurierbarer Hardware für verschiedene Einsatzgebiete zu beurteilen. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Lernkompetenz After attending the course, the students are able to • explain the architectures of reconfigurable hardware devices, • name and analyze the main design methods and • judge the suitability of reconfigurable hardware for different application domains. **Non-cognitive Skills** • Team work • Learning competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb • Interaktive Übungen im Hörsaal • Rechnerübungen mit rekonfigurierbaren Systemen **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Aufgabenblätter und technische Dokumentation für die Rechnerübungen • S. Hauck and A. DeHon (editors): Reconfigurable Computing, Volume 1: The Theory and Practice of FPGA-Based Computation, Morgan Kaufmann, 2008 • Aktuelle Hinweise auf alternative und ergänzende Literatur, sowie Lehrmaterialien auf der Webseite und in den Vorlesungsfolien *Remarks of course Reconfigurable Computing:* **Implementation method** • Lecture with projector and board • Interactive exercises in the lecture room • Computer-based exercises with reconfigurable systems **Learning Material, Literature** • Lecture slides and exercise sheets • Exercise sheets and technical documentation for the for the computer-based exercises • S. Hauck and A. DeHon (editors): Reconfigurable Computing, Volume 1: The Theory and Practice of FPGA-Based Computation, Morgan Kaufmann, 2008 • Information about alternative and additional literature as well as teaching material on the course's website and in the lecture slides

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Modulnummer / Module number: M.048.23023	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
Keine

None

Prerequisites of course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* Die Lehrveranstaltung vermittelt Methoden und Architekturen für die ressourceneffiziente Ausführung moderner KI-Anwendungen unter Berücksichtigung von Leistungs-, Energie- und Speicherrestriktionen. Behandelte Themen umfassen: • Grundlagen des Deep Learning und Trainingsverfahren • Charakteristika moderner KI-Workloads (z. B. CNNs und Transformer) • Rechen-, Speicher- und Energieengpässe bei der KI-Inferenz • Methoden zur effizienten Modellgestaltung und -optimierung: – Quantisierung – Pruning und Sparsity – Knowledge Distillation – Effiziente neuronale Netze (z. B. MobileNet) • Abbildung von KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen • Architekturen für KI-Beschleunigung: – SIMD- und Vektorarchitekturen – GPU-Architekturen – Dataflow-Architekturen und systolische Arrays – NPUs und domänenspezifische Beschleuniger • Hardware-Software-Co-Design für effiziente KI-Systeme *Contents of the course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* The course introduces methods and architectures for resource-efficient execution of modern artificial intelligence applications under performance, energy, and memory constraints. Topics include: • Fundamentals of deep learning and training methodologies • Characteristics of modern AI workloads (e.g., CNNs and transformers) • Computational, memory, and energy bottlenecks during AI inference • Techniques for efficient model design and optimization: – Quantization – Pruning and sparsity – Knowledge distillation – Efficient neural network architectures (e.g., MobileNet) • Mapping AI workloads onto hardware platforms • Architectures for AI acceleration: – SIMD and vector architectures – GPU architectures – Dataflow architectures and systolic arrays – Neural Processing Units (NPUs) and domain-specific accelerators • Hardware-software co-design for efficient AI systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- grundlegende Prinzipien des Deep Learning aus einer Systemperspektive einzuordnen,
- KI-Workloads hinsichtlich ihrer Rechen-, Speicher- und Kommunikationsanforderungen zu analysieren,
- Performance-, Energie- und Speicherengpässe zu identifizieren,
- Methoden zur Modelloptimierung gezielt anzuwenden,
- KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen abzubilden und zu bewerten,
- verschiedene Architekturen für KI-Beschleunigung zu vergleichen,
- Trade-offs zwischen Genauigkeit, Latenz, Durchsatz und Energieeffizienz zu analysieren,
- Hardware-Software-Co-Design-Methoden für ressourceneffiziente KI-Systeme anzuwenden.

After successful completion of the module, students are able to:

- explain fundamental principles of deep learning from a systems perspective,
- analyze AI workloads with respect to computational, memory, and communication requirements,
- identify performance, energy, and memory bottlenecks,
- apply model optimization techniques to improve efficiency,
- map AI workloads onto different hardware platforms and evaluate their suitability,
- compare different architectures for AI acceleration,
- analyze trade-offs between accuracy, latency, throughput, and energy efficiency,
- apply hardware-software co-design methodologies for resource-efficient AI systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Lennart Bamberg
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** PANDA (mehr Informationen werden in der ersten Vorlesung gegeben) **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** PANDA (more information will be provided in the first lecture) **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Software Quality Assurance			
Software Quality Assurance			
Modulnummer / Module number: M.079.01272	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05805 Software Quality Assurance	V3 Ü2	75	105	WP	90/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05805 Software Quality Assurance	L3 Ex2	75	105	CE	90/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Software Quality Assurance:
Empfohlene Vorkenntnisse
Programmierung, Modellierung, Modellbasierte Softwareentwicklung

Prerequisites of course Software Quality Assurance:
Recommended Proficiencies
Programming, Modeling, Model-based software development

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Software Quality Assurance:* Das Ziel der Vorlesung ist die Behandlung von Ansätzen, Technologien und Strategien für die Qualitätssicherung von Softwaresystemen. Dies beinhaltet einerseits konstruktive Ansätze wie Design Pattern, Anti-Pattern, domänenspezifische Sprachen, modellgetriebene Softwareentwicklung, Qualitätsmodelle und Architekturstile und andererseits analytische Ansätze wie statische Reviewtechniken und dynamisch Testtechniken. Des Weiteren werden Ansätze für die Verbesserung des Softwareentwicklungsprozesses und internationale Standards wie ISO 9001, 9126, CMM, usw. behandelt. • Einführung in die Softwarequalitätssicherung • Standards – Produktspezifische Standards: ISO 9126 – Prozessspezifische Standards: ISO 9001, CMM • Konstruktive Ansätze – Pattern und Stile: Design Pattern, Anti-Pattern, Architekturstile – Modellgetriebene Softwareentwicklung – Metamodellierung – Domänenspezifische Sprachen – Design By Contract – Forschung: Process Constraints • Analytische Ansätze – Reviews, Inspektionen – Testen: Fundamentaler Testprozess, Black Box Testen, White Box Testen

Contents of the course Software Quality Assurance:
The aim of the lecture is to cover approaches, technologies and strategies related to quality assurance for software systems. These include on the one hand constructive approaches such as design patterns, anti-patterns, domain-specific languages, model driven development, model quality analysis, and architectural styles, and on the other hand analytic approaches such as static reviewing techniques and dynamic testing techniques.. Furthermore, approaches for the improvement of the software development process and international standards like ISO 9001, 9126, CMM etc. are covered.

- Introduction to software quality assurance
- Standards
  - Product-related Standards: ISO 9126
  - Process-related Standards: ISO 9001, CMM
- Constructive approaches
  - Patterns and styles: Design patterns, Anti-Patterns, Architectural styles
  - Model-driven development
  - Metamodeling
  - Domain Specific Languages
  - Design by contract
  - Research: Process constraints
- Analytical approaches
  - Reviews, inspections
  - Testing: Fundamental Test Process, Black Box Testing, White Box Testing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind in der Lage, Qualitätseigenschaften von Entwicklungsprozessen, Softwaremodellen bzw. -systemen zu benennen. Sie kennen Techniken zur konstruktiven bzw. analytischen Sicherstellung von Qualitätseigenschaften und können diese geeignet einsetzen. Sie kennen die wesentlichen Standards für die Bewertung von Prozess- und Produktqualitäten. Sie können ausgewählte, aktuelle Forschungsansätze im Bereich Prozess- und Softwarequalitätssicherung verstehen und einordnen.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Empathie
- Lernkompetenz
- Lernmotivation
- Motivationale und volitionale Fähigkeiten

The students are able to explain quality characteristics of software development processes, software models as well as software systems. They have understood constructive and analytical techniques used to ensure quality properties, and they are able to apply them. They can describe standards for measuring process and product quality. They are able to understand new research approaches in the area of process and product quality.
Non-cognitive Skills

- Empathy
- Learning competence
- Learning motivation
- Motivation

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Enes Yigitbas
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Software Quality Assurance:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. In praktischen Übungen insbesondere mit Testwerkzeugen werden die erlernten Kenntnisse angewendet. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Daniel Galin: Software Quality Assurance: From Theory to Implementation, Pearson / Addison Wesley, 2004 • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Software Quality Assurance:* **Implementation method** Partially slides and partially board writing. All essential concepts and techniques will be repeatedly applied in examples during the tutorial. In a lab part, the techniques will be employed using tools, particularly testing tools. **Learning Material, Literature** • Daniel Galin: Software Quality Assurance: From Theory to Implementation, Pearson / Addison Wesley, 2004 • Slides, Exercises

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

3.5 Vertiefungsgebiet “Nano/Microelectronics”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Nano/Microelectronics / Nano/Microelectronics
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * Algorithms for Synthesis and Optimization of Integrated Circuits * High Frequency Engineering * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Machine Learning I * Modern Semiconductor Lasers * Optoelectronics * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Theory and Design of Integrated Photonic Devices * Theory and Design of Phase-locked Loops * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich der Nano- und Mikroelektronik.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number: M.048.92043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

High Frequency Engineering			
High Frequency Engineering			
Modulnummer / Module number: M.048.92002	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92002 High Frequency Engineering	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92002 High Frequency Engineering	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:
Keine

None

Prerequisites of course High Frequency Engineering:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:* **Kurzbeschreibung** Diese Vorlesung vermittelt anwendungsorientierte Kenntnisse in der Hochfrequenztechnik. Ferner werden Kenntnisse über aktive und passive Hochfrequenzschaltungen vermittelt. **Inhalt** Die Veranstaltung Hochfrequenztechnik erweitert das in der Veranstaltung Theoretische Elektrotechnik erworbene Wissen um weitere anwendungsrelevante Anteile. Ziel ist es, die Hörer für Entwicklungsarbeiten z.B. im hochfrequenten Teil eines Mobiltelefons zu befähigen. Gesichtspunkte der Hochfrequenztechnik sind aber auch schon in gängigen Digitalschaltungen zu berücksichtigen. Die Schwerpunkte der Veranstaltung sind passive Baugruppen, Hochfrequenzeigenschaften der Transistorgrundschaltungen, lineare und nichtlineare Verstärker, rauschende Mehrtore, Mischer, Oszillatoren, Synchronisation und Phasenregelschleife. *Contents of the course High Frequency Engineering:* **Short Description** This lecture gives application-oriented knowledge in high frequency engineering. Furthermore, it gives knowledge in active and passive high-frequency circuits. **Contents** The lecture High-Frequency Engineering extends the content of the lecture Theoretische Elektrotechnik by further application-relevant knowledge. The aim is to qualify the students for development tasks for example in the radio frequency part of a mobile telephone. But considerations of high-frequency engineering are also needed in prevalent digital circuits. The emphases of the lecture are passive devices, high-frequency properties of fundamental transistor circuits, linear and nonlinear amplifiers, noisy multiports, mixers, oscillators, injection-locking and phase-locked loop.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachliche Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang die Funktionsweise von Komponenten, Schaltungen und Systemen der Hochfrequenztechnik zu verstehen, diese zu modellieren und anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence** After attending the course, the students will be able, in the taught extent, to understand the function of components, circuits and systems of high-frequency engineering, to model and to apply them. **(Soft) Skills** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:

ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS
Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet.

Lehrveranstaltungsseite
`http://ont.upb.de`
Methodische Umsetzung
Vorlesung und Übung
Lernmaterialien, Literaturangaben
Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Remarks of course High Frequency Engineering:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Implementation
Lecture and exercise
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:* Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind. Zu den behandelten Themen gehören: • Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite • Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen • Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission • Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb • Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung • Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser • Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser • Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme *Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:* Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory. Topics covered include: • Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth • State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits • Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission • Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing • Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding • Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers • Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers • Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optoelectronics			
Optoelectronics			
Modulnummer / Module number: M.048.26011	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optoelectronics:
Keine

None

Prerequisites of course Optoelectronics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optoelectronics:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optoelectronics vermittelt alle grundlegenden Aspekte optoelektronischer Bauelemente, beginnend bei den Halbleitermaterialien und deren Wechselwirkung mit Licht bzw. Photonen, über die elektronischen Aspekte der Bauelemente bis hin zur Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Optimierung moderner Bauelemente für die jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. in Beleuchtungssystemen, zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, für breitbandige optische Kommunikationssysteme oder in der Medizintechnik. **Inhalt** Im ersten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen von Halbleitern (Gitterstruktur, Bandstruktur, direkt-indirekte Halbleiter, Dotierung, entartete und nicht entartete Halbleiter, Heterostrukturen, Quanteneffekte in niederdimensionalen Halbleitern) rekapituliert. Anschließend werden die elementaren Wechselwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, stimulierte Emission, spontane Emission) und die elektronischen Aspekte der Bauelemente (p-n-Übergang, Heteroübergänge) behandelt. Anschließend werden die wichtigsten Bauelemente: Solarzellen, Photodioden, Leuchtdioden und Halbleiterlaser detailliert besprochen und ihre wichtigsten Parameter und Optimierungsstrategien diskutiert. *Contents of the course Optoelectronics:* **Short description** The lecture Optoelectronics covers the fundamental aspects of optoelectronic devices, starting with semiconductor materials and their interaction with light and photons, to the electronic aspects of the components, and finally to the use of quantum mechanical effects to optimise modern components for their respective areas of application, such as in lighting systems, renewable energy, broadband optical communication systems or in medical technology. **Contents** In the first part of the lecture, the basics of semiconductors (lattice structure, band structure, direct-indirect semiconductors, doping, degenerate and non-degenerate semiconductors, heterostructures, quantum effects in low-dimensional semiconductors) are recapitulated. The elementary interactions between light and semiconductors (absorption, stimulated emission, spontaneous emission) and the electronic aspects of the components (p-n junction, heterojunctions) are then covered. Finally, the most important devices such as solar cells, photodiodes, light-emitting diodes and semiconductor lasers are discussed in detail and their most important parameters and optimisation strategies are explained.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von optoelektronischen Halbleiterbauelementen auf der Grundlage klassischer und grundlegender quantenmechanischer Beschreibungen zu erklären,
- die wichtigsten Konzepte von optoelektronischen Halbleiterbauelementen (Fotodioden, Solarzellen, Leuchtdioden, Halbleiterlaser) zu beschreiben,
- und verschiedene Bauelementdesigns entsprechend ihren Anwendungsanforderungen zu kategorisieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können methodisches Wissen für die systematische Problemanalyse in einer Vielzahl von Disziplinen nutzen,
- werden in der Lage sein, sich dank der umfassenden Grundausbildung selbstständig in neue Generationen von Halbleiterbauelementen einzuarbeiten,
- werden mit Ratengleichungsmodellen zur Simulation stationärer und dynamischer Eigenschaften in gekoppelten Systemen vertraut gemacht,
- und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenzen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- explain the basic physical properties of optoelectronic semiconductor devices based on classical and fundamental quantum mechanical descriptions,
- to describe the main concepts of optoelectronic semiconductor devices (photodiodes, solar cells, light emitting diodes, semiconductor lasers),
- categorize different device designs according to their application requirements.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis for a wide range of disciplines,
- will be in position to familiarise themselves independently with new generations of semiconductor devices, thanks to the comprehensive fundamental training received,
- get familiar to rate-equation models to simulate steady-state and dynamic characteristics in coupled systems,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Nils Christopher Gerhardt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lehrveranstaltungsseite** [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Modulseite** wird bei Vorlesungsstart bekannt gegeben **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsskript und Handouts zum Tutorial; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Course Homepage [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Module Homepage** to be announced at the start of the lecture **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture notes and handouts for the tutorial; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

	Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation: **Short Description** Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with: • Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications • Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications • System design • Semiconductor technology and integrated high-frequency devices • Broadband amplifiers • Current-mode logic • Transmitter and receiver circuits • PLLs for frequency synthesis and clock recovery • Measurement methods
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Modulnummer / Module number: M.048.26013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-.3 Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:
Empfohlen:

- Wissen über elektromagnetische Felder und Wellen
- Erfahrung mit MATLAB-/Python-Skripting wäre von Vorteil

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* **Recommended:** Knowledge on electromagnetic fields and waves Experience with MATLAB/Python scripting would be beneficial
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* • Einführung – Historische Entwicklung der integrierten Photonik und ihre heutige Bedeutung – Kurzer Überblick über die erforderlichen theoretischen Grundlagen * Elektromagnetische Wellen und Maxwell-Gleichungen * Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in verschiedenen Medien • Theorie optischer Wellenleiter: Bauelement Nr. 0 – Analyse eindimensionaler (1D) Wellenleiter * Strahlenoptisches Modell * Vektorwellengleichung und Randbedingungen – Analyse zweidimensionaler (2D) Wellenleiter * Überblick über Wellenleiterplattformen und die Methode des effektiven Brechungsindex * Überblick über die vollvektorielle Methode * Dispersion, Polarisation und Orthogonalität geführter Moden • Theorie gekoppelter Moden: analytische Formulierung • Passive integriert-photonische Bauelemente – Richtkoppler (DC): Bauelement Nr. 1 – Multimoden-Interferometer (MMI): Bauelement Nr. 2 – Verteilter Bragg-Reflektor (DBR): Bauelement Nr. 3 • Abstimmbare/aktive integriert-photonische Bauelemente – Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) / -Modulator (MZM): Bauelement Nr. 4 – Mikroringresonatoren (MRR) / -Modulator (MRM): Bauelement Nr. 5 – Überblick über Phasenschieber: thermisch, elektro-optisch und MEMS-basiert • Fertigungsvariabilität und Toleranzen integriert-photonischer Bauelemente • Überblick über die Analyse photonischer integrierter Schaltkreise (PICs), Einführung in die Kompaktmodellierung und die elektronisch-photonische Entwurfsautomatisierung (EPDA)

Contents of the course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:

- Introduction
  - Historical evolution of integrated photonics and relevance in today's world
  - Brief overview on the required background theory
    - Electromagnetic waves and Maxwell's equations
    - EM waves propagation in different media
- Theory of optical waveguides: Device #0
  - 1-D waveguide analysis
    - Ray optics model
    - Vector wave equation and boundary conditions
  - 2-D waveguide analysis
    - Overview of waveguide platforms and effective index method
    - Overview of the full vectorial method
    - Dispersion, polarization and orthogonality of guided modes
- Coupled-mode theory: analytical formulation
- Passive integrated photonic devices
  - Directional coupler (DC): Device #1
  - Multi-mode interferometers (MMI) : Device #2
  - Distributed Bragg reflector (DBR): Device #3
- Tunable/active integrated photonic devices
  - Mach-Zehnder interferometer (MZI) / modulator (MZM): Device #4
  - Microring resonators (MRR) / modulator (MRM): Device #5
  - Overview of phase shifters: thermal, electro-optic and MEMS-based
- Fabrication variability and tolerances of the integrated photonic devices
- Overview of photonic integrated circuit (PIC) analysis, introduction to compact-modeling and electronic-photonic design automation (EPDA)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis der Funktionsweise und der theoretischen Grundlagen integrierter photonischer Bauelemente, der bei deren Design bestehenden Einschränkungen sowie der Strategien zu deren Überwindung.

Understanding the working and fundamental theory of integrated photonic devices, constraints involved in the device designs and overcoming strategies.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Ashitosh Velamuri
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Theory and Design of Phase-locked Loops			
Theory and Design of Phase-locked Loops			
Modulnummer / Module number: M.048.24020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:
Empfohlen:

- Fortgeschrittene Signaltheorie
- Statistische Signalverarbeitung (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Bachelor-Lehrplan)
- Schaltungs- und Systementwurf (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Lehrplan im Bachelorstudium

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Phase-locked Loops:* **Recommended:** • Advanced Signal Theory • Statistical Signal Processing (or another course with comparable syllabus in their bachelor) • Circuit and system design (or another course with comparable syllabus in their bachelor)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:* Kapitel 1: Motivation • Definition von Zeit und Frequenz – Definition in SI-Einheiten – statischer Frequenzfehler • Zufallsschwankungen – Amplituden-/Phasenrauschen (AM/PM) Kapitel 2: Mathematischer Formalismus von Signalen • Basisband- und Bandpass-Signale • Zeit- und Frequenzbereich Kapitel 3: Einführung in Zufallsprozesse • Basisband-Zufallsprozesse und Rauschen – Korrelationsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich – einige Basisband-Zufallsprozesse (thermisches Rauschen, Schrotrauschen, Flickerrauschen . . .) • Bandpass-Zufallsprozesse – Korrelationsfunktionen – Beziehung zu Basisbandprozessen – Phasenrauschen und Amplitudenrauschen Kapitel 4: PLL-Bausteine • Phasendetektor – Phasendetektor-Modell – Phasenrauschen des Phasendetektors • VCO – VCO-Modell – Phasenrauschen des VCO • Frequenzumsetzer – Frequenzteiler – Frequenzmultiplikator – Phasenrauschen von Frequenzumsetzern • Entwurf von PLL-Blöcken auf Transistorebene Kapitel 5: Integer N PLLs: – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen Kapitel 6: Fractional PLLs – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen

Contents of the course Theory and Design of Phase-locked Loops:
Chapter 1: Motivation

- Time and frequency definition – definition in SI units – static frequency error
- random fluctuations – Amplitude/Phase (AM/PM) noise

Chapter 2: Mathematical formalism of signals

- baseband and bandpass signals
- time and frequency domain

Chapter 3: introduction to random processes

- baseband random processes and noise – correlation functions in time and frequency domain – some basedband random processes (thermal noise, shot noise, flicker noise . . .)
- bandpass random processes – correlation functions – relation to baseband processes – phase noise and amplitude noise

Chapter 4: PLL building blocks

- Phase detector – Phase detector model – phase noise of phase detector
- VCO – VCO model – phase noise of VCO
- Frequency translators – frequency divider – frequency multiplier – phase noise of frequency translators
- transistor level design of PLL blocks

Chapter 5: Integer N PLLs: – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies
Chapter 6: Fractional PLLs – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis des statischen/dynamischen Fehlers in Frequenznormalen. Mathematische Modellierung von Amplituden-/Phasenrauschen. Modellierung von Zufallsprozessen im Zeit- und Frequenzbereich. Grundlegende und moderne PLL-Architektur und ihre Bausteine. Systematischer Entwurf von PLLs. Entwurf und Modellierung von Integer/Fractional N PLL.

Understanding of static/dynamic error in frequency standards. Mathematical modeling of amplitude/phase noise. Modeling random processes in time and frequency domain. Basic and modern PLL architecture and its building blocks. Systematic design of PLLs. Design and Modeling of Integer/Fractional N PLL.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Meysam Bahmanian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Module Homepage https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

3.6 Vertiefungsgebiet “Signal, Image, and Speech Processing”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Signal, Image, and Speech Processing / Signal, Image, and Speech Processing
Module / Modules	* Advanced System Theory) * Digital Image Processing I * Digital Image Processing II * Digitale Sprachsignalverarbeitung * Machine Learning I * Machine Learning II * Machine Learning for Biometrics * Optimale und Adaptive Filter * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Statistical and Machine Learning * Statistical Natural Language Processing * Technische kognitive Systeme * Topics in Signal Processing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Signal-, Bild- und Sprachverarbeitung.

Advanced System Theory			
Advanced System Theory			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92001	180	6	Sommer- / Wintersemester

	Studiensemester / Semester number:	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Sprache / Teaching Language:**
	1. Semester	1	de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	60/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:
Empfohlen:
Voraussetzung ist ein Grundverständnis von Differentialgleichungen, linearer Algebra und Laplace-Transformationen, wie sie in einem typischen Grundstudium der Systemtheorie behandelt werden.

None

Prerequisites of course Advanced System Theory:
Recommended:
Prerequisites are a basic understanding of differential equations, linear algebra, and Laplace transforms, as they are covered in a typical undergraduate course on system theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Kurzbeschreibung** Aufbauend auf einem Grundkurs in Systemtheorie behandelt dieser Kurs das dynamische Verhalten linearer Systeme mit größerer mathematischer Sorgfalt. Der Kurs ist in erster Linie für Studierende der Ingenieurwissenschaften gedacht, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften nützlich sein. **Inhalte** Systemmodelle und Differentialgleichungen • Zustandsraum- und E/A-Beschreibungen • Beziehungen zwischen internen und externen Beschreibungen • Reaktion von Systemen mit kontinuierlicher und diskreter Zeit • Stabilität, Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit • Zustandsraumrealisierungen von externen Beschreibungen *Contents of the course Advanced System Theory:* **Short Description** Building on an undergraduate system theory course, this course studies the dynamical behavior of linear systems with greater mathematical rigor. The course is primarily intended to serve students in engineering, but it can also be useful to students in physics and other natural sciences. **Contents** • System models and differential equations • State-space and I/O descriptions • Relations between internal and external descriptions • Response of continuous- and discrete-time systems • Stability, controllability, observability • State-space realizations of external descriptions
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch dieser Veranstaltung sind die Studenten mit den wichtigsten Konzepten und Ergebnissen der linearen Systemtheorie vertraut. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Dieser Kurs soll ihnen Intuition und Gespür für das dynamische Verhalten linearer Systeme vermitteln, auf das sie später zurückgreifen können. Dieser Kurs behandelt Material in ausreichender Breite, so dass Studenten ein klares Bild vom dynamischen Verhalten linearer Systeme, einschließlich ihrer Leistungsfähigkeit und Grenzen, bekommen. Dadurch können Studenten die Theorie in anderen Gebieten anwenden. After attending this course, students will be familiar with the most important concepts and results in linear system theory. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. Many of their timeless insights and intuitions about the dynamical behavior of systems will be drawn from this course. This course presents material broad enough so that students will have a clear understanding of the dynamical behavior of linear systems, including their power and limitations. This will allow students to apply the theory to other fields.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Erdal Kayacan

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) Panda-Kurs für Kommunikation und Organisation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungs-/Tutoriumsfragen; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben *Remarks of course Advanced System Theory:* **Course Homepage** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) Panda course for communication and material distribution **Teaching Material, Literature** Handouts and exercise / tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Digital Image Processing I			
Digital Image Processing I			
Modulnummer / Module number: M.048.92008	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:
Keine. Grundlegende Programmierkenntnisse sind von Vorteil.

None

Prerequisites of course Digital Image Processing I:
None. Basic programming knowledge is an advantage.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt eine grundlegende Einführung in die digitale Bildverarbeitung. Nach erfolgreichem Abschluss des Kurses sind die Studierenden in der Lage, die grundlegenden Konzepte der Bildgenerierung und -repräsentation fundiert zu beschreiben. Darüber hinaus beherrschen sie die Anwendung von Methoden zur Verbesserung und Segmentierung von Grauwert- und Farbbildern im Orts- und Frequenzbereich sowie zur Bildkompression. Die Studierenden sind in der Lage, diese Techniken eigenständig auszuwählen, zu implementieren, zu testen und auf komplexe Bildverarbeitungsaufgaben anzuwenden. Ein typisches Anwendungsfeld ist Automatisierungstechnik. **Inhalt** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression) *Contents of the course Digital Image Processing I:* **Short Description** This course provides a fundamental introduction to digital image processing. Upon successful completion, students will be able to thoroughly describe the basic concepts of image generation and representation. Additionally, they will acquire the skills to apply methods for enhancing and segmenting grayscale and color images in both the spatial and frequency domains, as well as techniques for image compression. Students will be capable of independently selecting, implementing, testing, and applying these techniques to complex image processing tasks. A typical application area is automation technology. **Contents** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz
Die Studierenden

- sind in der Lage. die Grundlagen der Bildgenerierung und der Bilddigitalisierung zu beschreiben und
- können Methoden zur Bildverbesserung im Orts- und Frequenzraum, zur Bildsegmentation und zur Bilddatenreduktion selbstständig für komplexe Bildbearbeitungsaufgaben auswählen, implementieren, testen und anwenden.

Fachübergreifende Kompetenzen
Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in Python.

Domain competence
The students

- are able to describe the basics of image generation and image digitization and
- are able to select, implement, test and apply methods for the enhancement of images in the spatial and frequency domain, image segmentation and data reduction independently for complex image processing tasks.

Key qualifications
The students have a good command of programming in Python.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Zielgruppe** Masterstudierende der Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i` **Literatur** • Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0. • Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes). • Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7. **Kommentar** Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen mithilfe von Python praktisch umgesetzt. In der ersten Übung wird dazu eine Einführung gegeben, sodass auch ein Einstieg mit geringen Programmierkenntnissen möglich ist. Eine regelmäßige und aktive Teilnahme an Vorlesungen und Übungen wird erwartet.

Remarks of course Digital Image Processing I:
Target group
Master's students in electrical engineering and related fields.
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i`
Literature

- Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0.
- Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes).
- Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7.

Comment
The material presented in the lecture is implemented in the exercises using Python. The first exercise provides an introduction to this, so that it is possible to get started with limited programming knowledge. Regular and active participation in lectures and exercises is expected.

Digital Image Processing II			
Digital Image Processing II			
Modulnummer / Module number: M.048.92010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:
Empfohlen:
Grundkenntnisse der Bildverarbeitung, (zum Beispiel aus der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

None

Prerequisites of course Digital Image Processing II:
Recommended:
Basic knowledge of image processing, (e. g. from the course Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung " Digital Image Processing II " ist ein Modul im Katalog " Cognitive Systems " für Studierende des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es schließt an die Grundlagenveranstaltung " Digital Image Processing I " an und behandelt fortgeschrittene Methoden der Bildverarbeitung. **Inhalte** Die folgenden Themen werden im Laufe des Semesters behandelt: • Bildsegmentierung (Linien- und Kantenerkennung, Segmentierung nach Regionen, Superpixel) • Merkmalsextraktion (Merkmalsdeskriptoren, Hauptkomponenten, Skalen-Invariante-Merkmal-Transformation (SIFT)) • Stereobildanalyse (Tiefenwahrnehmung, Stereogeometrie, Korrespondenzproblem) • Bewegung (Bewegungserkennung, optischer Fluss, Bewegungsmodelle, Bewegungssegmentierung) • Objekterkennung und Bildmusterklassifikation (Muster, Klassifikatoren, neuronale Netze und Deep Learning, Convolutional Neural Networks (CNN)) Nachdem die Studierenden die Methoden in der Vorlesung kennengelernt haben, werden sie diese in Jupyter-Notebooks implementieren. *Contents of the course Digital Image Processing II:* **Short Description** The course "Digital Image Processing II" is a module in the catalog "Cognitive Systems" for advanced students of the Electrical Engineering Master's program and related degree programs. It follows the fundamental course "Digital Image Processing I" and covers methods for high-level image processing. **Contents** The following topics will be discussed during the semester: • Image segmentation (line and edge detection, segmentation by region, superpixels) • Feature extraction (feature descriptors, principal components, Scale-Invariant-Feature-Transform (SIFT)) • Stereo image analysis (depth perception, stereo geometry, correspondence problem) • Motion (motion detection, optical flow, motion models, motion segmentation) • Object recognition and image pattern classification (patterns, classifiers, neural networks and deep learning, convolutional neural networks (CNN)) After learning about the methods in the lecture, the students will implement them in Jupyter Notebooks.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können die grundlegenden Methoden zur Bildsegmentation anwenden,
- beherrschen Methoden zur Beschreibung von Bildmerkmalen und zur Objekterkennung,
- können Kenntnisse aus der Bildverarbeitung auf die Behandlung anderer mehrdimensionaler Signale übertragen und
- können den aktuellen Stand des Wissens in den vorgestellten Gebieten beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden können die Funktion und das Verhalten komplexer technischer Prozesse und ihre Einbindung in das gesellschaftliche Umfeld unter ethischen Gesichtspunkten erkennen und bewerten.

Domain competence:
The students

- can apply methods for image segmentation, representation and description of features, stereo and motion image analyis, objection recognition and machine learning,
- are able to transfer the acquired knowledge of image processing to the processing of other multi-dimensional signals,
- are able to describe the state-of-the-art of the presented topics, and
- are able to implement the presented methods.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and the behavior of complex technical processes and their integration into the social environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes) • Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG • Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9 • Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Remarks of course Digital Image Processing II:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes)
- Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG
- Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9
- Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Digitale Sprachsignalverarbeitung			
Digital Speech Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.24001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24001 Digitale Sprachsignalverarbeitung	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24001 Digital Speech Signal Processing	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus dem Modul Höhere Mathematik.

None

Prerequisites of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Recommended: Prior knowledge from the module Higher Mathematics.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur digitalen Sprachsignalverarbeitung ein. Schwerpunkt des ersten Teils der Vorlesung liegt im Themengebiet „Hören und Sprechen“, welches sich mit psychologischen Effekten der Geräuschwahrnehmung und der Spracherzeugung beschäftigt. Anschließend werden zeitdiskrete Signale und Systeme, sowie deren rechnergestützte Verarbeitung besprochen. Die nichtparametrische Kurzeitanalyse von Sprachsignalen, die Sprachcodierung und die IP-Telefonie sind weitere Themen.
Inhalt

- Sprechen und Hören
  - Spracherzeugung: menschliche Sprechorgane, Lautklassen, Quelle-Filter-Modell, Vocoder
  - Grundlagen Schallwellen
  - Hören: menschliches Hörorgan, Psychoakustik und Physiologie des Hörens, Lautheit, Verdeckung, Frequenzgruppen
- Zeitdiskrete Signale und Systeme
  - Grundlagen: Elementare Signale, LTI-Systeme
  - Transformationen: Fouriertransformation zeitdiskreter Signale, DFT, FFT
  - Realisierung zeitdiskreter Filterung im Frequenzbereich: Overlap-Add, Overlap-Save
- Statistische Sprachsignalanalyse
  - Grundlagen Wahrscheinlichkeitsrechnung
  - Kurzzeitanalyse von Sprachsignalen: Spektrogramm, Cepstrum
- Schätzung von Sprachsignalen
  - Optimale Filterung
  - LPC-Analyse
  - Spektrale Filterung zur Rauschunterdrückung
  - Adaptive Filterung: LMS Adaptionsalgorithmus, Echokompensation
- Sprachcodierung
  - Signalformcodierung, parametrische Codierung, hybride Codierverfahren
  - Codierung im Frequenzbereich
  - Amplitudenquantisierung: gleichförmige Quantisierung, Quantisierung mit Kompandierung (ulaw, alaw)

Contents of the course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Short Description
The course introduces the basic techniques and theories of digital speech signal processing. A focal point of the first part of the lecture is the topic “Listening and Speaking”, which is concerned with psychological effects of human sound perception and speech production. Subsequently, time discrete signals and systems, as well as computer based data processing are discussed. Further topics are non-parametric short-time analysis of speech signals, speech coding and IP-phones.
Contents

- Listen and talk
  - Generating voice: human vocal tract, source filter model, vocoder
  - Acoustic waves
  - Listen: human ear, psycho acoustics and physiology of listening, loudness, acoustic occlusion, frequency groups
- Time-discrete signals and systems
  - Basics: Elementary signals, LTI systems
  - Transformations: Fourier transformation of time-discrete signals, DFT, FFT
  - Time-discrete filtering in frequency domain: Overlap-Add, overlap-Save
- Statistical speech signal analysis
  - Basics in theory of probabilities
  - Short-run analysis of speech signals: Spectrogram, cepstrum
- Estimation of speech signals
  - Optimal filters
  - LPC analysis
  - Spectral filtering for noise suppression: spectral subtraction, Wiener filter
  - Adaptive Filters: LMS adaptation algorithm, echo compensation
- Speech coding
  - Time domain coding: signal shape coding, parametric coding, hybride coding techniques
  - Frequency domain coding
  - Amplitude quantization: uniform quantization, quantization with companders (ulaw, alaw)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Digitale Signale, speziell Audiosignale, im Zeit- und Frequenzbereich zu analysieren,
- Sprachsignale effizient zu repräsentieren und
- Weit verbreitete Algorithmen zur Sprachsignalanalyse und Verarbeitung im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können Effekte in echten Signalen durch theoretisches Wissen erklären,
- können theoretische Ansätze durch systematische Betrachtung untersuchen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze digital signals, e.g., audio signals, in the time or frequency domain,
- represent audio signals efficiently and
- implement widely-used algorithms for speech analysis and speech processing in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to explain effects in real signals based on the theoretical knowledge,
- are able to investigate theoretical approaches by a systematic analysis and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/digitale-sprachsignalverarbeitung` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von echten Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/digital-speech-signal-processing`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercise classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks ; matlab scripts

Machine Learning I			
Machine Learning I			
Modulnummer / Module number: M.079.01274	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie praktischen Ansätzen zur Modellvalidierung. Sie können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens auf Klassifikations- und Regressionsprobleme anwenden. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Lernkompetenz • Lernmotivation • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, as well as practical tools for model validation. They are able to apply basic methods of supervised learning to problems of classification and regression.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Machine Learning II			
Machine Learning II			
Modulnummer / Module number: M.079.01275	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05810 Machine Learning II	V3 Ü2	75	105	WP	20

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05810 Machine Learning II	L3 Ex2	75	105	CE	20

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning II:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlegende Kenntnisse in Maschinellem Lernen (z.B. vermittelt durch die Machine Learning I Vorlesung).

Prerequisites of course Machine Learning II:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in machine learning (as conveyed, for example, by the Machine Learning I lecture).

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning II:* Aufbauend auf einer grundlegenden Einführung in das maschinelle Lernen, wie beispielsweise vermittelt durch die Veranstaltung Machine Learning I, werden in dieser Vorlesung fortgeschrittene Themen in diesem Gebiet behandelt (reinforcement learning, online learning and bandit algorithms, multi-task learning, multi-target and structured output prediction, preference learning, learning from weak supervision, and uncertainty in machine learning). Obwohl die Vorlesung im Wesentlichen methodisch und algorithmisch ausgerichtet ist, werden auch theoretische und anwendungsorientierte Aspekte behandelt. • From binary to multi-class classification • Ordinal and hierarchical classification • Ensemble methods • Nonlinear models and kernel machines • Multi-target prediction • Semi-supervised learning • Active learning • Online learning • Multi-armed bandits • Reinforcement learning • Preference learning and ranking *Contents of the course Machine Learning II:* This lecture, which is conceived as a continuation of the Machine Learning I, covers advanced topics in contemporary machine learning research, such as reinforcement learning, online learning and bandit algorithms, multi-task learning, multi-target and structured output prediction, preference learning, learning from weak supervision, and uncertainty in machine learning. The focus of the lecture will be on methods and algorithms, though theoretical issues and applications will be addressed, too. • From binary to multi-class classification • Ordinal and hierarchical classification • Ensemble methods • Nonlinear models and kernel machines • Multi-target prediction • Semi-supervised learning • Active learning • Online learning • Multi-armed bandits • Reinforcement learning • Preference learning and ranking

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden haben einen Überblick über Methoden zur Klassifikation mit mehr als zwei Klassen, dem Lernen nichtlinearer Modelle, sowie Erweiterungen des einfachen Szenarios des überwachten Lernens. Sie verstehen algorithmische Konzepte entsprechender Lernverfahren und können diese Verfahren auf praktische Probleme anwenden.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Lernkompetenz
- Lernmotivation
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The students have an overview of methods for multi-class classification, the learning of nonlinear models, and extensions of the simple setting of supervised learning. They understand algorithmic concepts of corresponding methods and are able to apply them to real problems.
Non-cognitive Skills

- Learning competence
- Learning motivation
- Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

	Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eyke Hüllermeier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning II:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning II:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Machine Learning for Biometrics			
Machine Learning for Biometrics			
Modulnummer / Module number: M.079.4088	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* Unter biometrischer Verifikation versteht man die automatische Erkennung von Personen auf der Grundlage ihrer Verhaltensweisen oder biologischen Merkmalen. Die Veranstaltung wird einen Überblick über moderne biometrische Systeme geben und speziell auf deren Funktionsweise und Herausforderungen eingehen. Dafür werden verschiedenste Ansätze maschinellen Lernens eingeführt, die darauf abzielen eine zuverlässige biometrische Erkennung (z.B. mittels Gesichtserkennung) zu ermöglichen. Zugleich stellen biometrische Anwendungen ganz eigene Anforderungen an die zugrundeliegenden Algorithmen. Die Veranstaltung wird speziell auf diese Anforderungen eingehen und wie man diese algorithmisch und im Lernprozess begegnen kann. Dies beinhaltet die Themen Privatsphäre, Fairness, Erklärbarkeit, Unsicherheiten, Effizienz, Angriffe und deren automatisierte Erkennung. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Biometrische Systeme, Funktionsweisen und Evaluierung • Zusammenfassung über traditionelles und tiefes Lernen • Gesichts-, Iris- und Fingerabdruckerkennung • Soft-Biometrie und Privatsphäre • Fairness und Bias in biometrischen Systemen • Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit biometrischer Systeme • Qualität biometrischer Daten • Effiziente biometrische Systeme • Präsentationsangriffe und Erkennung • Multibiometrische Fusion • Biometrische Indizierung *Contents of the course Machine Learning for Biometrics:* Biometric verification is defined as the automated recognition of individuals based on their behavioral or biological characteristics. The course will give an overview of modern biometric systems and specifically address their functionality and challenges. For this purpose, various approaches of machine learning will be introduced, which aim at enabling reliable biometric recognition (e.g. by means of face recognition). At the same time, biometric applications place very specific requirements on the underlying algorithms. The course will specifically address these requirements and how they can be met algorithmically and in the algorithmic learning process. This includes the topics of privacy, fairness, explainability, uncertainties, efficiency, attacks and their automated detection. The course includes the following content: • Biometric systems, operation modes, and evaluation • Recap on traditional and deep learning • Face, Iris, and fingerprint recognition • Soft-biometrics and privacy • Fairness and bias in biometric systems • Explainability and confidence in biometric systems • Biometric sample quality • Efficient biometric systems • Presentation attacks and detection • Multi-biometric fusion • Biometric indexing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- eigenständig biometrische Systeme evaluieren,
- Modelle zur biometrischen Erkennung für verschiedene Modalitäten trainieren,
- Biometrische Angriffe automatisiert erkennen und Systeme robust gegen solche Angriffe machen,
- verschiedenste Herausforderungen biometrischer Systeme erklären und Lösungsstrategien nennen, um diesen zu begegnen,
- offene Forschungsfragen in der Biometrie nennen und erklären.

Students will be able to

- independently evaluate biometric systems,
- train biometric recognition models for different modalities,
- automatically detect biometric attacks and make systems robust against such attacks,
- explain various challenges of biometric systems and name solution strategies to counter them,
- name and explain open research questions in biometrics.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Philipp Terhörst
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* **Methodische Umsetzung** Zunächst wird den Studierenden ein Überblick über Biometrie und deren Anwendungen und grundsätzliche Funktionsweisen gegeben. Danach werden benötigte Konzepte des maschinellen Lernens kompakt eingeführt und bei der Behandlung spezieller biometrischer Anforderungen im Kontext angewandt und ausgebaut. Parallel zur Vorlesung werden in den Übungen die theoretischen Konzepte praktisch anhand Gesichtsdaten geübt. Dies geschieht in Form von kurzen handschriftlichen und Implementierungsaufgaben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Machine Learning for Biometrics:* **Implementation Method** First, students are given an overview of biometrics and its applications and basic functionalities. Then, required concepts of machine learning are introduced in a compact way. These will be applied and developed in context when dealing with specific biometric requirements. Parallel to the lecture, the theoretical concepts are practiced in the exercises using facial data. This is done in the form of short hand-written and implementation tasks. **Learning Material, Literature** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Further literature will be announced in the lecture.

Optimale und Adaptive Filter			
Optimal and Adaptive Filters			
Modulnummer / Module number: M.048.24010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24010 Optimale und Adaptive Filter	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24010 Optimal and Adaptive Filters	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Digitale Signalverarbeitung.

None

Prerequisites of course Optimale und Adaptive Filter:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Digital Signal Processing.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung „Optimale und adaptive Filter“ führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur adaptiven Filterung ein. Aufbauend auf den Grundlagen der Schätztheorie werden zunächst optimale Filter diskutiert. Anschließend werden die Wiener Filter Theorie, die deterministische Optimierung unter Randbedingungen und die stochastischen Gradientenverfahren betrachtet. Abschließend werden der Least Squares Ansatz zur Lösung von Filteraufgaben und der Kalman Filter vorgestellt. Letzterer ist als Einführung in das Themengebiet der zustandsbasierten Filterung anzusehen.
Inhalt

- Klassische Parameterschätzung
  - Schätzung und Schätzer
  - MMSE-Schätzung
  - Lineare Schätzer
  - Orthogonalitätsprinzip
  - Bewertung der Güte von Schätzern
- Wiener Filterung
  - Wiener-Hopf Gleichung
  - AR- und MA-Prozesse
  - Lineare Prädiktion
- Iterative Optimierunsverfahren
  - Gradientenan/abstieg
  - Newton-Verfahren
- Lineare adaptive Filterung
  - LMS-Algorithmus
  - Least-Squares Methode
  - Blockweise und rekursive adaptive Filter
  - Realisierungsaspekte
- Zustandsmodellbasierte Filter
  - Kalman Filter
- Anwendungen
  - Systemidentifikation
  - Kanalschätzung und -entzerrung
  - Mehrkanalige Sprachsignalverarbeitung
  - Geräusch- und Interferenzunterdrückung

Contents of the course Optimale und Adaptive Filter:
Short Description
The course “Optimal and adaptive filters” gives an introduction to the basic techniques and theories of adaptive filters. Based upon the basics of estimation theory optimal filters are discussed. Subsequently the topics Wiener filter theory, deterministic optimization under constraints and stochastic gradient methods are regarded. Concluding the Least Squares approach for solving filter tasks and the Kalman filter are introduced. The latter is regarded as a brief introduction to state based filters.
Contents

- Classic parameter estimation
  - Estimators
  - MMSE-Estimation
  - Linear estimators
  - Orthogonality principle
  - Evaluation of estimators
- Wiener filter
  - Wiener-Hopf equation
  - AR- and MA processes
  - Linear prediction
- Iterative optimization methods
  - Gradient ascent/descent
  - Newton method
- Linear adaptive filters
  - LMS algorithm
  - Least-Squares method
  - Blockwise and recursive adaptiv filters
  - Realization aspects
- Statemodel based filters
  - Kalman filter
- Applications
  - System identification
  - Channel estimation and equalization
  - Multi-channel speech signal processing
  - Noise and interference suppression

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Problemstellungen im Bereich der adaptiven Filterung zu analysieren und Anforderungen mathematisch zu formulieren
- Filter anhand von Kostenfunktionen zu entwickeln und
- ausgewählte adaptive Filter im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können theoretische Ergebnisse in praktische Realisierungen überprüfen,
- können theoretische Ansätze mittels methodenorientiertem Vorgehen einer systematischen Analyse unterziehen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze task on the field of adaptive filters and to formulate requirements mathematically,
- develop filter using cost functions and
- implement selected adaptive filters in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to check theoretical results using practical realizations,
- are able to undertake theoretical approaches a systematic analysis using methodical procedures and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/optimale-und-adaptive-filter` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Optimale und Adaptive Filter:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/optimal-and-adaptive-filter`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercises classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks; matlab scripts

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Statistical and Machine Learning			
Statistical and Machine Learning			
Modulnummer / Module number: M.048.23012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale. Wünschenswert sind auch Programmierkenntnisse.

None

Prerequisites of course Statistical and Machine Learning:
Recommended: Elementary knowledge in probability theory, as is taught in the course Statistical Signal Processing. Basic programming skills are desirable.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung “Statistical and Machine Learning” vermittelt einen Einblick in die Komponenten und Algorithmen von statistischen und maschinellen Lernverfahren. Es werden verschiedenste Ansätze vorgestellt, wie Charakteristika aus Daten entweder überwacht oder unüberwacht gelernt werden können und wie unbekannte Muster erkannt werden. Die vorgestellten Techniken können auf vielfältige Klassifikations- und Regressionsprobleme angewendet werden, sei es für eindimensionale Signale (z.B. Sprache), zweidimensionale (z.B. Bilder) oder symbolische Daten (z.B. Texte, Dokumente). **Inhalt** *Einführung in Klassifikationsverfahren, Bayes'sche und andere Entscheidungsregeln,* Optimierungsverfahren: Gradientenabstieg, algorithmisches Differenzieren, Optimierung mit Randbedingung *Lineare Klassifikatoren: Perzeptron, Support Vector Machines* Tiefe Neuronale Netze *Dimensionsreduktionsverfahren (PCA, LDA)* Unüberwachte Lernverfahren (Mischungsverteilungen, Clusterverfahren) *Contents of the course Statistical and Machine Learning:* **Short Description** The course on Statistical and Machine Learning presents an introduction into the components and algorithms prevalent in statistical and machine learning. Modern techniques will be presented for gleaning information from data. Both supervised and unsupervised learning algorithms will be discussed. The presented techniques can be applied to a variety of classification and regression problems, both for one-dimensional input data (e.g., speech), two-dimensional (e.g., image) or symbolic input data (e.g., documents). **Contents** *Introduction to classification problems, Bayesian and other decision rules* Optimization: gradient descent, algorithmic differentiation, optimization with constraints *Linear classifiers, Support Vector Machines* Deep neural networks (deep learning) *Dimensionality reduction (PCA, LDA)* Unsupervised learning (mixture densities, clustering techniques)

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch des Moduls in der Lage, • Für ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem eine geeignete Lösungsmethode auszuwählen • Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens auf neue Problemstellungen anzuwenden und die Ergebnisse des Lernens kritisch zu bewerten • grundlegendes Verständnis von maschinellen Lernverfahren zu haben • Programmbibliotheken zur Realisierung von Klassifikatoren (z.B. neuronale Netze, Support Vector Machines) sinnvoll anwenden und eigene Programme schreiben zu können • ür eine vorgegebene Trainingsdatenmenge einen sinnvolle Wahl für die Dimension des Merkmalsvektors und die Komplexität des Klassifikators zu treffen zu können. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • Haben Fertigkeiten in Python erworben, die sie auch außerhalb dieser Anwendungsdomäne einsetzen können • Haben ein Verständnis für das Prinzip der Parsimomität und können es auf andere Fragestellungen übertragen • Können ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem analysieren, eine Lösung synthetisieren und sie anschließend an Testdaten evaluieren • Können die in diesem Kurse gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten auf andere Disziplinen übertragen • Können in einer Gruppe umfangreichere Aufgabenstellungen gemeinsam analysieren, in Teilaufgaben zerlegen und lösungsorientiert bearbeiten • Können die Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen von maschinellen Lernverfahren bewerten

Domain competence:
After completion of the module students will be able to

- Find an appropriate approach to solving a given classification or regression problem
- Apply supervised or unsupervised learning techniques to data of various kinds and critically assess the outcome of the learning algorithms
- Can appreciate the power and limitations of machine learning algorithms
- Work with software for solving machine learning problems and write own software components, apply them to given data sets and optimize parameter settings
- Find, for a given training set size, an appropriate choice of classifier complexity und feature vector dimensionality

Key qualifications:
The students

- Have gathered sufficient proficiency in Python, which is valuable well beyond this course
- Can assess the importance of the principle of parsimony and are able to transfer it to other
- Are able to analyse a given classification or regression problem, synthesize a solution, and evaluate the performance on test data
- Are able to apply the knowledge and skills learnt in this course to a wide range of disciplines
- Can work cooperatively in a team and subdivide an overall task into manageable subtasks and work packages
- Acquired a general understanding of the power and limitations of machine learning algorithms

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Mohammad Soleymani
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/statistische-und-maschinelle-lernverfahre` **Methodische Umsetzung** *Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, vereinzelt Folien-Präsentation* Präsenzübungen mit Übungsblättern und Demonstrationen am Rechner *Praktische Übungen mit Python, in denen Studierende eigenständig Trainings- und Testdaten generieren, Lösungswege erarbeiten und Lernverfahren oder Klassifikatoren implementieren, testen, sowie Ergebnisse auswerten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines ausführlichen Skripts und stichwortartiger Zusammenfassungsfolien für jede Vorlesung. Lösungen der Übungsaufgaben und Beispielimplementierungen von Algorithmen werden zur Verfügung gestellt. *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

	Remarks of course Statistical and Machine Learning: **Course Homepage** `https://ei.uni-paderborn.de/en/statistical-and-machine-learning` **Implementation** *Lectures predominantly using the blackboard or overhead projector, occasional presentations of (powerpoint) slides ,* Exercise classes with exercise sheets and demonstrations on computer *Implementation of learning and classification algorithms on a computer by the students themselves; use of algorithms on real-world data or data generated on the computer, evaluation of the simulation results **Teaching Material, Literature** Course script and summary slides are provided to the students. Exercises and solutions to exercises, as well as sample implementations of algorithms are provided to the students *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

Statistical Natural Language Processing			
Statistical Natural Language Processing			
Modulnummer / Module number: M.079.01281	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: beliebig	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05702 Statistical Natural Language Processing	V2 Ü3	75	105	WP	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05702 Statistical Natural Language Processing	L2 Ex3	75	105	CE	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical Natural Language Processing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Vektorräume, Grammatik natürlicher Sprachen, Wahrscheinlichkeitstheorie

Prerequisites of course Statistical Natural Language Processing:
Recommended Proficiencies
Vector spaces, grammar of natural languages, probability theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical Natural Language Processing:* Diese Vorlesung vermittelt Methoden und Verfahren zur Konzeption und Implementierung von Sprachverarbeitungspipelines. Zu den Kerninhalten gehören Textvorverarbeitung, Parsing, distributionale Semantik, dedizierte maschinelle Lernverfahren und Anwendungen wie Fragebeantwortungssysteme. • Normalisierung • Sprachmodelle • Spelling correction • Maschinelles Lernen • POS Tagging • Parsing • Distributionale Semantik • Wortbedeutung • Wissensextraktion • Fragebeantwortungssysteme *Contents of the course Statistical Natural Language Processing:* The goal of this lecture is to present students with the foundational tools and methods necessary to implement natural language processing pipelines. The course includes content pertaining to text preprocessing, parsing, distributional semantics, dedicated machine learning approaches and applications such as question answering. • Text normalization • Language modeling • Spelling correction • Machine Learning • POS Tagging • Parsing • Distributional semantics • Word senses • Knowledge Extraction • Question Answering

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Studierende sind in der Lage, relevante Probleme und Lösungsanforderungen für folgende Beispielgebiete zu benennen: • Vorverarbeitung von Korpora • Sprachmodelle • Rechtschreibprüfung • Text und Dokumentenklassifikation • Distributionale Semantik • Fragebeantwortungssysteme Sie sind mit grundlegenden Techniken vertraut, können Einschränkungen dieser Techniken in konkreten Problemfällen herausfinden (wissenschaftliche Methodik anwenden), und veränderte oder angepasste Techniken entwickeln, um solche Probleme zu umgehen. Sie können solche Veränderungen qualitativ und quantitativ evaluieren. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Gruppenarbeit • Lernkompetenz • Medienkompetenz • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) Students can list relevant problems and identify solution requirements for the following areas: • Text preprocessing • Language modelling • Spelling correction • Text and document classification • Distributional Semantics • Question Answering They are aware of basic techniques in these areas, can identify limitations and shortcomings of these techniques when applied to concrete problem situations, and develop modifications of these techniques for specific areas. They can evaluate such modifications qualitatively and quantitatively. **Non-cognitive Skills** • Team work • Learning competence • Media competence • Literacy (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 Minuten bzw. 40 Minuten	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 minutes or 40 minutes	100%

The responsible lecturer announces type and duration of assessment modalities in the first three weeks of the lecture period at latest.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Schriftliche Übungsaufgaben		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung bzw. qualifizierte Teilnahme konkret zu erbringen ist.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Written exercises		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit 6 Credits gewichtet. The module is weighted as 6 credits.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical Natural Language Processing:* **Methodische Umsetzung** Wöchentliche Vorlesungen (2 SWS) mit neuen Inhalten zu dedizierten Themen behandeln. Zusätzlich zu formalen Betrachtungen werden Anwendungen und Einschränkungen der vorgestellten Methoden diskutiert. Die Übungsaufgaben (1SWS) sind sowohl theorie- als auch praxisorientiert and geben den Lernenden die Möglichkeit zu überprüfen, ob sie die vermittelten Inhalten verstanden haben. Im Rahmen des Mini-Projekts (2SWS) wird eine praktische Aufgabe mit Hilfe von Methoden aus dem Semantik Web gelöst. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Übungsaufgaben *Remarks of course Statistical Natural Language Processing:* **Implementation method** The weekly lectures (2SWS) cover new content on a weekly basis. In addition to the formal considerations, we will cover applications and corresponding limitations of the methods presented throughout the course. The exercises (1SWS) are both theoretical and practical in nature. The learners are to show that they understood the concepts and can apply them to practical problems. The mini-project (2SWS) give the students a holistic view of how to solve complex problems using Semantic Web technologies. **Learning Material, Literature** Slides and homework assignments

Technische kognitive Systeme			
Cognitive Systems Engineering			
Modulnummer / Module number: M.048.43019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23019 Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23019 Cognitive Systems Engineering - Special Topics	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Empfohlen: Interesse am Seminarthema und interdisziplinärer Arbeit.

None

Prerequisites of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Recommended: Interest in the subject-matter and interdisciplinary work.

4	**Inhalte / Contents:** Das Modul wird in drei Teilen angeboten. Es sind **zwei aus drei** Teilen zu wählen. Jeder Teil hat einen Umfang von 2 SWS bzw. 3 Leistungspunkten. *Inhalte der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Teil A** Auf die Sinnesorgane von Lebewesen treffen zu jedem Zeitpunkt eine sehr große Menge von Informationen ein, von denen nur ein kleiner Anteil bewusst verarbeitet werden kann. Unter visueller Aufmerksamkeit wird die Bündelung der verfügbaren kognitiven Ressourcen zur optimalen Verarbeitung visueller Stimuli verstanden. Das Seminar führt in die Modellierung und experimentelle Erforschung von visueller Aufmerksamkeit und die Übertragung auf intelligente technische Systeme ein. Hierbei wird gezeigt, wie über die Grenzen von Disziplinen hinweg, gemeinsam geforscht werden kann. Der Schwerpunkt liegt aktuell auf dem Thema Salienz. Die Veranstaltung findet immer im Wintersemester statt. **Teil B** Während unter “Sensation” die Signale aus der physikalischen Welt beschreiben, die unsere Sinnesrezeptoren erreichen, werden unter “Perzeption” die Prozesse verstanden, mit denen unser Gehirn die Signale auswählt, organisiert und interpretiert. Das Seminar vermittelt Studierenden technischer Studiengänge einen Überblick über die Grundlagen biologischer Sensorik und Wahrnehmung. Neben den spannenden und (teils nicht intiuitiven) Hintergründen dieser Themen findet eine kritische Diskussion der Übertragbarkeit der biologischen Konzepte und Mechanismen auf technische Systeme statt. Dieses Seminar liegt immer im Sommersemester. **Teil C** In diesem Seminar werden aktuelle Zwischenberichte und Ergebnisse aus laufenden Bachelor- und Masterarbeiten, Forschungsvorhaben und Drittmittelprojekten aus dem Fachgebiet GETLab - Technische Kognitive Systeme vorgestellt. Weiterhin finden Vorträge von Gästen der Arbeitsgruppe statt. Das Seminar wird im Sommer- und im Wintersemester angeboten. This module is offered in three parts. Students have to choose **two out of three**. Each part lasts two hours per week and yields three credits. *Contents of the course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Part A** At any given time, the sensory receptors of living beings are exposed to a very large amount of information, of which only a small proportion can be consciously processed. Visual attention is understood as the pooling of available cognitive resources for optimal processing of visual stimuli. The seminar introduces the modeling and experimental investigation of visual attention and the transfer to intelligent technical systems. It will be shown how research can be conducted jointly across disciplinary boundaries. The current focus is on the topic of saliency. The course always takes place in the winter semester. **Part B** While “sensation” describes the signals from the physical world that reach our sensory receptors, “perception” refers to the processes by which our brain selects, organizes, and interprets the signals. This seminar provides students in technical courses with an overview of the fundamentals of biological sensory systems and perception. In addition to the exciting and (sometimes non-intuitive) background of these topics, there will be a critical discussion of the transferability of biological concepts and mechanisms to technical systems. This seminar is always in the summer semester. **Part C** In this seminar, current interim reports and results from ongoing bachelor’s and master’s theses, research projects, and third-party funded projects from the GETLab - Technical Cognitive Systems department will be presented. Furthermore, there will be presentations by guests of the research group. The seminar is offered in the summer and winter semester.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können grundlegende Fragestellungen für den Entwurf und die Implementierung von technischen kognitiven Systemen benennen,
- sind in der Lage, technische kognitive Systeme zu verwenden und zu evaluieren und
- können einfache psychophysikalische Experimente interpretieren, entwerfen, durchführen und auswerten.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- sind in der Lage Fachliteratur zu recherchieren,
- haben ein Verständnis für die fachspezifischen Forschungsansätze (Elektrotechnik / Informatik / Psychologie) entwickelt und
- haben ein kritisches Verständnis darüber, inwiefern die Nachahmung biologischer kognitiver Prozesse in technischen Systemen sinnvoll ist.

Domain competence:
The students

- are able to name basic research topics related to the design and the implementation of technical cognitive systems,
- can apply and evaluate technical cognitive systems, and
- are able to understand, design, implement and evaluate basic psychophysical experiments.

Key qualifications:
The students

- are able to research and evaluate technical literature,
- have developed an understanding of the discipline-related research approaches (computer science, electrical engineering, psychology) and
- are able to carefully consider the potential use of bio-inspired mechanisms in technical systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	90-150 min or 20-30 min or 30-60 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modul Homepage** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse] **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise erfolgen an den ersten Terminen des Seminars. *Hinweise der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. ---

Module Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse]
Teaching Material, Literature
Literature references will be given at the first dates of the seminar.

Remarks of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Topics in Signal Processing			
Topics in Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.92014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Empfohlen: Signal- und Systemtheorie, mindestens Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und linearen Algebra

None

Prerequisites of course Topics in Signal Processing:
Recommended: Signal and system theory, at least a basic understanding of probability and linear algebra

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Kurzbeschreibung
Diese Veranstaltung behandelt eine Auswahl von aktuellen Themen in der Signalverarbeitung. Ein Teil der Veranstaltung besteht aus regulären Vorlesungen, wohingegen der andere aktive Mitarbeit von Studenten voraussetzt.
Inhalt
Zunächst werden in diesem Kurs relevante Aspekte aus der linearen Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie wiederholt. Danach werden Studenten angeleitet, aktuelle Veröffentlichungen aus der Signalverarbeitungsliteratur zu lesen, zu analysieren und dann auch zu präsentieren.

Contents of the course Topics in Signal Processing:
Short Description
This course covers a selection of current topics in signal processing. One part of this course will follow a regular lecture format, while the other part will require active student participation.
Contents
This course will first review relevant aspects of linear algebra and probability theory. Then students will learn how to read, analyze, and present recent papers from the signal processing literature.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In dieser Veranstaltung werden Studenten mit aktuellen Forschungsthemen in der Signalverarbeitung vertraut gemacht. Studenten lernen, wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verstehen und kritisch zu bewerten. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden.

In this course, students will familiarize themselves with some current research topics in signal processing. They will learn to read and understand scientific publications and to critically evaluate results. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Peter Schreier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Übung mit aktiver Beteiligung der Studenten, Präsentationen von Studenten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben. *Remarks of course Topics in Signal Processing:* **Course Homepage** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Implementation** Lectures and tutorials with active student participation, student presentations **Teaching Material, Literature** References will be given in the first lecture.

Wireless Communications			
Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.24022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
	Studiensemester / Semester number: 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30 / 30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30 / 30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Wireless Communications:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

Prerequisites of course Wireless Communications:
Recommended:
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, Signal Theory, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Wireless Communications:* Die Veranstaltung vermittelt den Studierenden wichtige Grundkenntnisse, die für das Verständnis der Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme notwendig sind. Ausgehend von einem physikalischen Verständnis des Mobilfunkkanals, insbesondere der Phänomene Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekt, wird die physikalische und statistische Modellierung von zeitvarianten Kommunikationssystemen dargestellt. Anschließend werden wichtige Diversitätsverfahren zur kanalangepassten Übertragung sowie Mehrfachzugriffsverfahren vorgestellt. *Contents of the course Wireless Communications:* The course provides students with important basic knowledge necessary for understanding the transmission concepts of modern mobile communication systems. Starting with a physical understanding of the mobile communications channel, in particular the phenomena of multipath propagation and the Doppler effect, the physical and statistical modeling of time-varying communication systems is presented. Subsequently, important diversity techniques for channel-adaptive transmission and multiple access techniques are introduced.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • grundlegende Ausbreitungsmechanismen im Mobilfunkkanal zu erklären; • physikalische und statistische Modelle zeitvarianter Kommunikationskanälen zu beschreiben und verwenden; • Fading-Prozesse zu analysieren und ihre Auswirkung auf die Übertragungszuverlässigkeit zu bewerten; • Diversitätsverfahren und ihre Bedeutung für robuste drahtlose Übertragungen zu erläutern; • gängige Mehrfachzugriffsverfahren zu erklären, vergleichen und bewerten; • Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme zu beurteilen; • theoretische Kanalmodelle mit praktischen Aspekten des Systementwurfs zu verknüpfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • haben ausgeprägte analytische und mathematische Kompetenzen; • können komplexe physikalische Phänomene in ingenieurwissenschaftlichen Modellen abstrahieren; • können analytische Ergebnisse auf Systemebene interpretieren; • sind in klarer und präziser technischer Kommunikation geübt (mündlich und schriftlich); • können selbstständig Lernen und sich kritisch mit technischer Fachliteratur auseinandersetzen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- understand the fundamental propagation mechanisms in mobile radio channels;
- describe and apply physical and statistical modeling principles to time-varying communication channels;
- analyze fading processes and asses their impact on transmission reliability;
- explain diversity techniques, apply them to design physical layer signal processing algorithms, and assess their impact on transmission reliability;
- explain, compare, and evaluate common multiple access schemes;
- assess transmission concepts employed in contemporary mobile communication systems;
- connect theoretical channel models with practical system design considerations.

Key qualifications:
The students

- have strong analytical and mathematical reasoning skills;
- have the ability to abstract complex physical phenomena into engineering models;
- can interpret analytical results at the system level;
- have experience in clear and precise technical communication (oral and written)
- can learn independently and engage critically with technical literature.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung von Vorlesungsfolien; ausgiebige Literaturhinweise zu jeder Vorlesung. **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Lecture slides and reading assignments for each lecture; additional reading suggestions.

4 Abschlussarbeit

Abschlussarbeit			
Master's Project			
Modulnummer / Module number: A.048.17001	**Workload (h):** 900	**Leistungspunkte / Credits:** 30	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
	Studiensemester / Semester number: 4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Sprache / Teaching Language:** de / en

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	Arbeitsplan (CEMA)		15	135	P	
b)	Masterarbeit (CE)		30	720	P	

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	Working Plan (CEMA)		15	135	C	
b)	Master Thesis (CE)		30	720	C	

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3	**Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:** Das Modul Abschlussarbeit kann erst begonnen werden, wenn Module im Umfang von 45 Leistungspunkten erfolgreich abgeschlossen sind. Im Fall der Einschreibung mit Auflagen muss zudem das Bestehen der zugehörigen Prüfungen nachgewiesen werden. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Arbeitsplan (CEMA):* Empfohlen: Je nach gewähltem Thema Kenntnisse aus dem gewählten Vertiefungsmodul. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Masterarbeit (CE):* Empohlen: Je nach gewähltem Thema Kenntnisse aus dem gewählten Vertiefungsgebiet. *Prerequisites of course Arbeitsplan (CEMA):* Recommended: Depending on the chosen topic, knowledge from the chosen specialization module. *Prerequisites of course Masterarbeit (CE):* Recommended: Depending on the topic chosen, knowledge of the chosen area of specialization.
4	**Inhalte / Contents:** **Arbeitsplan:** Nach Themenabsprache mit dem Betreuer erfolgt eine erste grobe Einarbeitung. Auf dieser Grundlage und einer ersten Literaturrecherche ist durch den Studierenden ein Arbeitsplan vorzulegen, der die zu erzielenden Ergebnisse samt Meilensteine für die Arbeit dokumentiert. **Masterarbeit:** In der Masterarbeit wird ein Problem nach wissenschaftlichen Methoden innerhalb einer bestimmten Frist bearbeitet. Die Arbeit ist thematisch in das wissenschaftliche Umfeld der Fakultät eingebettet und kann die vielschichtigen engen Kooperationen mit Betrieben und der Industrie nutzen. Neben Praxisbezug stellt eine Masterarbeit insbesondere die Eignung zur methodisch-wissenschaftlichen Arbeit sicher.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Im Rahmen ihrer Abschlussarbeit bearbeiten die Studierenden ein Problem nach wissenschaftlichen Methoden innerhalb einer bestimmten Frist. Die im Zuge des Studiums erworbenen fachlichmethodischen sowie fachübergreifenden Kompetenzen sollen dazu entsprechend eingesetzt werden. Dazu gehören insbesondere auch die Strukturierung und Planung der einzelnen Arbeitsschritte sowie die Präsentation der Ergebnisse nach Abschluss der Arbeit. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Einsatz und Engagement • Lernkompetenz • Lernmotivation • Motivationale und volitionale Fähigkeiten • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) • Selbststeuerungskompetenz -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a) - b)	Abschlussarbeit		100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a) - b)			100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Arbeitsplan	150h	QT
b)			

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Working Plan	150h	QP
b)			

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden und die qualifizierte Teilnahme nachgewiesen ist.

keine

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit 60 Credits gewichtet.

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Carsten Balewski
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Arbeitsplan: Je nach gewähltem Thema in Absprache mit dem Betreuer. • Masterarbeit: Je nach gewähltem Thema in Absprache mit dem Betreuer. **Methodische Umsetzung** • Arbeitsplan: Direkte Absprache mit Betreuer. • Masterarbeit: Selbständiges Arbeiten unterstützt durch individuelle Betreuung.

5 Übersicht des Modulangebotes im Wintersemester

- A.048.17001 Abschlussarbeit 369
- M.048.22021 Geregelte Netzumrichter 178
- M.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies 237
- M.048.24010 Optimale und Adaptive Filter 335
- M.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops 292
- M.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation . 341
- M.048.26012 Modern Semiconductor Lasers 274
- M.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices 288
- M.048.27031 Optimization-Based Control Methods 190
- M.048.43019 Technische kognitive Systeme 357
- M.048.45001 Pflichtmodul Elektrotechnik I 12
- M.048.45002 Pflichtmodul Elektrotechnik II 20
- M.048.92001 Advanced System Theory 302
- M.048.92002 High Frequency Engineering 261
- M.048.92006 Advanced Topics in Robotics 165
- M.048.92014 Topics in Signal Processing 362
- M.048.92021 Optical Communication C 69
- M.048.92027 VLSI-Testing 297
- M.079.01251 Pflichtmodul Informatik I 4
- M.079.01252 Pflichtmodul Informatik II 8
- M.079.01256 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures 35
- M.079.01260 Databases and Information Systems 128
- M.079.01270 Reconfigurable Computing 233
- M.079.01274 Machine Learning I 323
- M.079.01277 Model-Based Systems Engineering 227
- M.079.01279 Introduction to Quantum Computation 133
- M.079.01281 Statistical Natural Language Processing 352
- M.079.01286 Real World Crypto Engineering 85
- M.079.4088 Machine Learning for Biometrics 331

6 Übersicht des Modulangebotes im Sommersemester

- A.048.17001 Abschlussarbeit 369
- M.048.23012 Statistical and Machine Learning 346
- M.048.24001 Digitale Sprachsignalverarbeitung 317
- M.048.24021 Information Theory 43
- M.048.24022 Wireless Communications 365
- M.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation 265
- M.048.26011 Optoelectronics 278
- M.048.27013 Regelung elektrischer Antriebe 174
- M.048.27015 Ultraschallmesstechnik 199
- M.048.27028 Gekoppelte Felder 170
- M.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems 186
- M.048.42941 Wissenschaftliches Arbeiten 29
- M.048.92001 Advanced System Theory 302
- M.048.92008 Digital Image Processing I 307
- M.048.92010 Digital Image Processing II 312
- M.048.92012 Robotics 194
- M.048.92019 Optical Communication A 60
- M.048.92020 Optical Communication B 64
- M.048.92043 Advanced VLSI Design 256
- M.079.01254 Projektgruppe 25
- M.079.01262 Foundations of Cryptography 39
- M.079.01271 Routing and Data Management in Networks 89
- M.079.01272 Software Quality Assurance 246
- M.079.01275 Machine Learning II 327
- M.079.01278 Approximate Computing 209
- M.079.01284 Web Security 110
- M.079.01285 Usable Security and Privacy 149
- M.079.4211 Hardware Security 219

7 Übersicht der Modulangebote in englischer Sprache

- A.048.17001 Master's Project 369
- M.048.23012 Statistical and Machine Learning 346
- M.048.23021 Topics in Audio, Speech and Language Processing ..... **??**
- M.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies 237
- M.048.24001 Digital Speech Signal Processing 317
- M.048.24010 Optimal and Adaptive Filters 335
- M.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops 292
- M.048.24021 Information Theory 43
- M.048.24022 Wireless Communications 365
- M.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications 265
- M.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications 341
- M.048.26011 Optoelectronics 278
- M.048.26012 Modern Semiconductor Lasers 274
- M.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices 288
- M.048.27013 Control of Electric Drives 174
- M.048.27031 Optimization-Based Control Methods 190
- M.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems 186
- M.048.43019 Cognitive Systems Engineering 357
- M.048.45001 Compulsory Module Electrical Engineering I 12
- M.048.45002 Compulsory Module Electrical Engineering II 20
- M.048.92001 Advanced System Theory 302
- M.048.92002 High Frequency Engineering 261
- M.048.92006 Advanced Topics in Robotics 165
- M.048.92007 Algorithms and Tools for Test and Diagnosis of Systems on a Chip ..... **??**
- M.048.92008 Digital Image Processing I 307
- M.048.92010 Digital Image Processing II 312
- M.048.92012 Robotics 194
- M.048.92014 Topics in Signal Processing 362
- M.048.92019 Optical Communication A 60
- M.048.92020 Optical Communication B 64
- M.048.92021 Optical Communication C 69
- M.048.92027 VLSI-Testing 297
- M.048.92030 Topics in Pattern Recognition and Machine Learning ..... **??**
- M.048.92037 Advanced Control ..... **??**
- M.048.92043 Advanced VLSI Design 256
- M.048.92045 Reinforcement Learning ..... **??**
- M.079.01251 Computer Science I 4
- M.079.01252 Computer Science II 8

- M.079.01254 Project Group 25
- M.079.01256 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures 35
- M.079.01260 Databases and Information Systems 128
- M.079.01262 Foundations of Cryptography 39
- M.079.01270 Reconfigurable Computing 233
- M.079.01271 Routing and Data Management in Networks 89
- M.079.01272 Software Quality Assurance 246
- M.079.01274 Machine Learning I 323
- M.079.01275 Machine Learning II 327
- M.079.01277 Model-Based Systems Engineering 227
- M.079.01278 Approximate Computing 209
- M.079.01279 Introduction to Quantum Computation 133
- M.079.01281 Statistical Natural Language Processing 352
- M.079.01285 Usable Security and Privacy 149
- M.079.01286 Real World Crypto Engineering 85
- M.079.4088 Machine Learning for Biometrics 331
- M.079.4211 Hardware Security 219

Erzeugt am 8. September 2026 um 12:07.